This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Over dit boek

Dit is een digitale kopie van een boek dat al generaties lang op bibliotheekplanken heeft gestaan, maar nu zorgvuldig is gescand door Google. Dat doen we omdat we alle boeken ter wereld online beschikbaar willen maken.

Dit boek is zo oud dat het auteursrecht erop is verlopen, zodat het boek nu deel uitmaakt van het publieke domein. Een boek dat tot het publieke domein behoort, is een boek dat nooit onder het auteursrecht is gevallen, of waarvan de wettelijke auteursrechttermijn is verlopen. Het kan per land verschillen of een boek tot het publieke domein behoort. Boeken in het publieke domein zijn een stem uit het verleden. Ze vormen een bron van geschiedenis, cultuur en kennis die anders moeilijk te verkrijgen zou zijn.

Aantekeningen, opmerkingen en andere kanttekeningen die in het origineel stonden, worden weergegeven in dit bestand, als herinnering aan de lange reis die het boek heeft gemaakt van uitgever naar bibliotheek, en uiteindelijk naar u.

Richtlijnen voor gebruik

Google werkt samen met bibliotheken om materiaal uit het publieke domein te digitaliseren, zodat het voor iedereen beschikbaar wordt. Boeken uit het publieke domein behoren toe aan het publiek; wij bewaren ze alleen. Dit is echter een kostbaar proces. Om deze dienst te kunnen blijven leveren, hebben we maatregelen genomen om misbruik door commerciële partijen te voorkomen, zoals het plaatsen van technische beperkingen op automatisch zoeken.

Verder vragen we u het volgende:

+ *Gebruik de bestanden alleen voor niet-commerciële doeleinden* We hebben Zoeken naar boeken met Google ontworpen voor gebruik door individuen. We vragen u deze bestanden alleen te gebruiken voor persoonlijke en niet-commerciële doeleinden.

+ *Voer geen geautomatiseerde zoekopdrachten uit* Stuur geen geautomatiseerde zoekopdrachten naar het systeem van Google. Als u onderzoek doet naar computervertalingen, optische tekenherkenning of andere wetenschapsgebieden waarbij u toegang nodig heeft tot grote hoeveelheden tekst, kunt u contact met ons opnemen. We raden u aan hiervoor materiaal uit het publieke domein te gebruiken, en kunnen u misschien hiermee van dienst zijn.

+ *Laat de eigendomsverklaring staan* Het “watermerk” van Google dat u onder aan elk bestand ziet, dient om mensen informatie over het project te geven, en ze te helpen extra materiaal te vinden met Zoeken naar boeken met Google. Verwijder dit watermerk niet.

+ *Houd u aan de wet* Wat u ook doet, houd er rekening mee dat u er zelf verantwoordelijk voor bent dat alles wat u doet legaal is. U kunt er niet van uitgaan dat wanneer een werk beschikbaar lijkt te zijn voor het publieke domein in de Verenigde Staten, het ook publiek domein is voor gebruikers in andere landen. Of er nog auteursrecht op een boek rust, verschilt per land. We kunnen u niet vertellen wat u in uw geval met een bepaald boek mag doen. Neem niet zomaar aan dat u een boek overal ter wereld op allerlei manieren kunt gebruiken, wanneer het eenmaal in Zoeken naar boeken met Google staat. De wettelijke aansprakelijkheid voor auteursrechten is behoorlijk streng.

Informatie over Zoeken naar boeken met Google

Het doel van Google is om alle informatie wereldwijd toegankelijk en bruikbaar te maken. Zoeken naar boeken met Google helpt lezers boeken uit allerlei landen te ontdekken, en helpt auteurs en uitgevers om een nieuw leespubliek te bereiken. U kunt de volledige tekst van dit boek doorzoeken op het web via `http://books.google.com`

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06910770 8

HANDBOEK

DER

NATUURKUNDE.

SNELPERSDRUK. — JOH. VAN OTTERLOO. — ROTTERDAM.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

Tronne-spectrum

HANDBOEK

DER

NATUURKUNDE.

NAAR HET FRANSCH

VAN

A. GANOT,

DOOR

Dr. TH. VAN DOESBURGH.

Vierde veel vermeerderde en verbeterde Uitgave.

ROTTERDAM,
NIJGH & VAN DITMAR.
1871.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
471765
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

VOORREDE VOOR DE EERSTE UITGAVE.

Terwijl ik de laatste aflevering van mijne bewerking van GANOT's **Cours de Physique** aan mijne lezers in handen geef, verwachten sommigen zonder twijfel van mij eene voorrede, onder anderen ook mijne ingenomenheid inhoudende met het oorspronkelijk werk en de redenen, die mij bewogen het in onze taal over te brengen.

Groot is mijne ingenomenheid met het werkje van GANOT. Het paart aan eenvoudigheid eene groote duidelijkheid. De schrijver heldert zijne stellingen op met keurige plaatjes en maakt ook juist hierdoor, dat zijn werk eene groote aantrekkelijkheid krijgt in het oog van hen, voor wie het bestemd is: jeugdige lezers en lezeressen.

Wilde ik als reden voor mijne bewerking opgeven, dat deze „voorziet in eene lang gevoelde behoefte," en daardoor te kennen geven, dat dit nu het eerste of ook het eenige goede populaire handboek over natuurkunde in onze taal zoude zijn, ik zoude onwaarheid spreken.

Wij bezitten onder anderen:

De Grondbeginselen der Natuurkunde, van Dr. F. E. J. CRÜGER, door W. M. LOGEMAN.

De Natuurkunde voor het onderwijs in lagere scholen, van Dr. F. E. J. CRÜGER, door Dr. D. J. STEYN PARVÉ.

De Eerste Grondbeginselen der Natuurkunde en **de Schets der Natuurkunde**, door P. VAN DER BURG.

Het Leerboek der proefondervindelijke en toegepaste Natuurkunde, van A. GANOT (Traité de Physique enz.), door P. VAN DER BURG.

Het Leerboek der Natuurkunde, door Dr. D. J. STEYN PARVÉ.

En toch geloof ik ook voor HET HANDBOEK DER NATUURKUNDE VOOR DEN BESCHAAFDEN STAND nog eene plaats te mogen vragen.

Beveelt het werkje zich aan door eenvoudigheid zonder oppervlakkig te zijn, door duidelijkheid zonder zich tot het gewone of alledaagsche te bepalen, door aanschouwelijke voorstelling, waarin zich niet zelden leven en beweging openbaart, — het is daardoor niet alleen eene handleiding voor onderwijs in de school, maar veeleer een leesboek, dat van zelf tot eigen nadenken brengt en zeker ook door de wijze van uitvoering veel tot het goed begrip van vele zaken zal toebrengen.

Een enkel woord slechts heb ik hierbij te voegen aangaande de Nederlandsche uitgave. Soms heb ik gemeend van den schrijver te moeten afwijken; hier heb ik wat moeten toevoegen, daar wat weglaten. Over het algemeen heb ik getracht aan de voorstellingen eene locale kleur te geven; waarin ik echter minder dan ik wenschte slagen mogt, ook doordien ik aan de oorspronkelijke figuren gebonden was. Het komt mij onnoodig voor alles aan te wijzen, waarin ik van den schrijver afwijk. Vergelijkt men de vertaling met het oorspronkelijke, dan vallen de voornaamste uitbreidingen weldra in het oog. Maar ik moet er toch iets van zeggen.

Over de Lichttorens zijn mij de bijzonderheden opgegeven door den Heer K. F. R. ANDRAU, Luit. ter Zee 1e klasse, Directeur Afdeeling Zeevaart, van het Kon. Ned. Meteor. Inst. te Utrecht. Hij houde zich van mijne erkentelijkheid overtuigd!

Over de leer der schaduw en halfschaduw, waaromtrent, vreemd

genoeg, in het werkje van GANOT niets voorkomt, achtte ik nuttig, de hier ingevoegde aanvulling te geven. De beide hierbij behoorende plaatjes zijn genomen uit zijn **Traité de Physique**, terwijl de toepassing van de leer der halfschaduw op de schaduwbeelden ontleend is aan P. A. DAGUIN **Traité élémentaire de Physique**.

De leer der spectrale kleuren kwam mij voor wat al te kort behandeld te zijn, weshalve ik dit gedeelte iets meer ontwikkeld heb.

Eindelijk gaf ik als **Bijvoegsel** iets over de **Meteorologische waarnemingen**. Ziet men, hoe weinig over het algemeen nog begrepen wordt van de wetenschap der meteorologie en van de cijfers, die hare beoefenaars dagelijks in onze dagbladen doen lezen, dan zal men het, vertrouw ik, niet overtollig rekenen, dat ik eene poging deed, om ook langs dezen weg iets bij te dragen tot goed verstand van den ook voor ons vaderland zoozeer te waardeeren wetenschappelijken arbeid op dit gebied. Den Hoogleeraar Dr. C. H. D. BUYS BALLOT, Hoofd-Dir. van het Kon. Ned. Met. Inst. te Utrecht, zij mijn warme dank gebracht voor zijn vriendschap, mij ook nu weder betoond door het afstaan van de cijfers der normaalstanden van Thermometer en Barometer, die ik voor mijn doel beoogde.

Zij, die met de bewerking van GANOT's **Traité de Physique**, door P. VAN DER BURG, met het **Leerboek der Natuurkunde** van Dr. STEYN PARVÉ bekend zijn, zullen zien dat deze geschriften dikwijls geraadpleegd en gevolgd zijn bij mijne vertaling van den COURS DE PHYSIQUE.

Wat de taal of liever de spelling en sommige uitdrukkingen aangaat, ontveins ik niet menige moeijelijkheid ondervonden te hebben, die ik niet altijd naar mijn genoegen ben te boven gekomen. Mijn doel was, zoo duidelijk mogelijk te zijn; daarom bediende ik mij van die woorden en termen, die in de lessen over de Natuurkunde gewoonlijk gebruikt worden.

In de schrijfwijze van vreemde woorden voegde ik mij in den regel naar het fransch, tenzij er in onze taal reeds eene gewone spelling voor mocht geacht worden in gebruik te zijn. Het is mij niet gemakkelijk voorgekomen, mij in dit opzigt steeds gelijk te blijven. En daarop zullen nog wel uitzonderingen voorkomen, die ik had kunnen vermijden, als alles door mij in eens overzien ware. Ik schreef **molécule**, **secunde**, **electricitiet** enz., **phothographie**, maar weder ook **telegrafie**, omdat ik van **telegraaf** sprak en van **telegrafen**; had ik dit ook op **photographie** moeten toepassen, dan ware er **fotografie** van gekomen; en dit is mij nog te vreemd voor de oogen. Het woord **microscoop** gebruikte ik mannelijk; uit analogie met de woorden: **telescoop**, **polariscoop**, **stethoscoop**, **baroscoop**, **stereoscoop** en zoovele andere meende ik daartoe de vrijheid te hebben.

Van drukfouten heb ik getracht de proeven zooveel in mijn vermogen was te zuiveren. Voor de nog overgeblevene vraag ik den goedgunstigen lezer om verschooning.

Moge het werkje in ruimer kring nut verspreiden!

KRALINGEN,
Januarij 1862.

TH. V. D.

VOORREDE VOOR DE TWEEDE UITGAVE.

Aan den wensch van den uitgever gehoor gevende, om met hem mede te werken tot het meer algemeen verkrijgbaar stellen van GANOT'S **Handboek der Natuurkunde**, *voor den beschaafden stand*, heb ik mij gaarne de moeite getroost van nog eens eene revisie op mij te nemen.

Wat de uitvoering van deze uitgave betreft, hoewel op minder papier,

zij mag gelukkig genoemd worden. En op deze uitvoering moet ik voornamelijk wijzen, daar in den tekst door mij niet vele veranderingen gebracht zijn. Een paar wil ik hier aanstippen: bijv. bij de leer van den slinger moest de *kwikslinger*, bij die van het geluid moesten de *Chladnische klankfiguren* een plaatsje vinden; daarentegen is de tabel en uitvoerige beschrijving der lichttorens achterwege gebleven.

Moge ook deze uitgave het hare bijbrengen tot meer algemeene beoefening der Natuurkunde!

KRALINGEN, v. D.
Julij 1862.

VOORREDE VOOR DE DERDE UITGAVE.

Gaarne heb ik aan het verlangen van den Heer NIJGH voldaan, door eene nieuwe omwerking op mij te nemen van GANOT's **Cours de Physique**. De 2e druk van het oorspronkelijk werkje stond nu tot mijn dienst. De lezer zal zien, het boekje heeft eene aanmerkelijke uitbreiding bekomen. Een nieuw hoofdstuk (de stoommachines behandelende) is er aan toegevoegd, wederom met keurige plaatjes. De telegrafie is vermeerderd met eenige schetsteekeningen, die voorzeker tot de duidelijkheid zeer veel zullen bijbrengen. Afwijkingen van den tekst heb ik mij niet vele veroorloofd, meest in zooverre alles meer naar *onze* dan naar de *Fransche* toestanden is bewerkt De behandeling der galvanische cellen, ook de telegrafie heeft eene wijziging ondergaan, bij de onderzeesche telegrafen heb ik eenigszins uitvoerig gewezen op den gewenschten Trans-Atlantischen kabel. Het bijvoegsel over de weerkundige waarnemingen heb ik weer geplaatst. In de normaal-tabel voor de

Temperatuur te Vlissingen en Helder is verandering gebracht. Sedert de vorige uitgaaf is er gelegenheid geweest de normaal-tabel voor genoemde plaatsen beter te bepalen. Wederom ben ik deze cijfers verpligt aan Dr. C. H. C. BUYS BALLOT, Dir. van het Kon. Ned. Meteor. Inst.

Terwijl ik een en ander gereed maak om *af te drukken*, verschijnt de 3e Fransche uitgaaf. Ik heb deze doorzien en nog een en ander er uit overgenomen, dat ik gaarne in den tekst op zijne plaats had ingelascht; doch door dat alle vellen reeds afgedrukt waren, was mij dit onmogelijk: nu heb ik het als aanhangsel geplaatst.

Dank aan mijne vrienden, die mij in de correctie trouw bijstonden!

Moge het werkje steeds in ruimeren kring nut verspreiden!

KRALINGEN, V. D.
September 1865.

VOORREDE VOOR DE VIERDE UITGAVE.

Deze vierde uitgaaf is veel vermeerderd; moge zij daardoor ook verbeterd zijn! Met groot genoegen voldeed ik aan het verzoek van de Heeren NIJGH & VAN DITMAR, om wederom eene geheele omwerking van GANOT'S **Handboek der Natuurkunde** op mij te nemen. Hierbij stond de vierde fransche uitgaaf mij ten dienste. Veel nam ik hieruit over, sommige zaken in vorige uitgaven liet ik nu achterwege. Dit moge voor zich zelf pleiten; alleen over den vorm een enkel woord.

In de spelling volgde ik nu de „woordenlijst" van de Heeren D.D. DE VRIES en TE WINKEL, maar veroorloofde mij eene en ander afwijking. Ik schreef „ligchaam" en niet „lichaam;" ik behield voor de duidelijkheid het onderscheid tusschen „licht" (niet donker) en „ligt" (niet zwaar);

ook kon ik mij aan den uitgang *i* voor *ij* in „Januarij" enz., nog niet gewennen.

Bij herlezing van het reeds afgedrukte heb ik mij op enkele onregelmatigheden betrapt, voor welke ik verschooning vraag, maar die ik niet van zooveel belang achtte, dat zij op de lijst van corrigenda plaats vereischten.

Zinstorende drukfouten zullen er, hoop ik, geen zijn overgebleven.

Moge ook deze uitgaaf in ruimen kring nut verspreiden.

KRALINGEN, v. D.
December 1870.

INHOUD.

EERSTE BOEK.

Algemeene eigenschappen en alom verspreide aantrekkingskracht.

			Bladzijde.
Hoofdstuk	I.	Inleiding	1
"	II.	Algemeene eigenschappen der ligchamen	7
"	III.	Beweging en krachten	17
		Hefboomen	32
"	IV.	Alom verspreide aantrekking en zwaarte	37
"	V.	Wetten van den val der ligchamen. Hellend vlak. Slinger	56
"	VI.	Moleculaire aantrekking en verschijnselen die er van afhangen	70
		Capillariteit, opslorping	72
"	VII.	Bijzondere eigenschappen der vaste ligchamen	77

TWEEDE BOEK.

Hydrostatika.

Hoofdstuk	I.	Over den druk, die door vloeistoffen wordt voortgeplant en uitgeoefend	80
"	II.	Evenwicht der vloeistoffen	91
		Toepassingen van het evenwicht der drupvormige vloeistoffen	97
"	III.	Drukking op ondergedompelde ligchamen. Specifiek gewicht. Areometers	103
		Soortelijk gewicht, Areometer (vochtweger)	111
		Vochtweger met veranderlijk volume en standvastig gewicht	120

DERDE BOEK.

De gassen.

Hoofdstuk	I.	Eigenschappen der gassen. Atmospheer. Barometer.	125
		Maat van de dampkringsdrukking, barometer.	133
		Barometer	136
		Uitwerkselen van de dampkringsdrukking	150
"	II.	Maat van de spankracht der gassen	154
		Diffusie en oplosbaarheid der gassen.	160

Hoofdstuk III. Toestellen die op de eigenschappen der lucht en op de atmospherische drukking berusten 162
Verschillende soorten van pompen 174
" IV. De luchtbollen 184

VIERDE BOEK.

Geluidsleer.

Hoofdstuk I. Ontstaan en voortplanting van het geluid 195
" II. Muzikaal geluid. Natuurkundige theorie van de muziek 210
" III. Dwarstrillingen der snaren Snaar-instrumenten. . 214
" IV. Geluidgevende pijpen en blaas-instrumenten . . . 218

VIJFDE BOEK.

Warmteleer.

Hoofdstuk I. Algemeene opmerkingen over de warmte. Thermometers. 226
Over de thermometers 233
" II. Uitstraling der warmte. 245
" III. Terugkaatsing der warmte 248
" IV. Warmte-geleidend vermogen der ligchamen . . . 258
" V. Maat van de uitzettingen der vaste stoffen, der vloeistoffen en der gassen 262
Uitzetting der vloeistoffen 267
Uitzetting der gassen 269
" VI. Veranderingen van toestand in de ligchamen door de werking der warmte. 272
" VII. Vorming der dampen, maat van hunne veerkracht. 276
" VIII. Het vloeibaar worden der dampen en der gassen, Specifieke warmte 295
" IX. Specifieke warmte, hare maat 300
" X. Stoommachines 304
" XI. Hygrometrie 324
" XII. Meteorologische verschijnselen, die van de warmte afhangen 328
Wolken, mist, regen, dauw. 334
Over de winden in het algemeen 340
" XIII. Bronnen van de warmte en koude 344
Bronnen van koude 346

ZESDE BOEK.

Het licht.

Hoofdstuk I. Voortplanting en snelheid van het licht. 349
" II. Terugkaatsing van het licht. Spiegels 360
Spiegels. 364
Gebogen spiegels 370
" III. Breking van het licht 380

Hoofdstuk IV. Gevolgen der straalbreking in prisma's en lenzen. . 389
Lenzen 392
Vorming van beelden door lenzen. 398
Toepassing der lenzen. 404
" V. Ontleding van het licht door prisma's 410
" VI. Nadeelige invloed der kleuring bij de lenzen. Achromatisme 422
" VII. Toepassingen van de eigenschappen der lenzen en der spiegels. 425
" VIII. Optische instrumenten (vervolg) 440
Daguerreotype 454
" IX. Het zien en de stereoscoop 463

ZEVENDE BOEK.

Magnetisme.

Hoofdstuk I. Eigenschappen der magneten 473
" II. Aardmagnetisme. Kompassen 479
" III. Verschillende wijzen van magnetiseeren 484

ACHTSTE BOEK.

Electriciteit.

Hoofdstuk I. Grondstellingen 488
" II. Electriseering door invloed. Electriseermachines . . 500
Toestellen op de electriseering door invloed gegrond. 502
" III. Electrische vermakelijkheden. 510
" IV. Condensatie der electriciteit 520
" V. Verschillende werkingen der electriciteit, opgehoopt in condensators 529
" VI. Electriciteit van den dampkring Bliksem en bliksem-afleiders 537
" VII. Luchtverschijnselen waaraan men een electrischen oorsprong toeschrijft. 545
" VIII. Electriciteit door scheikundige werking ontstaan. Kolom van Volta 549
" IX. Uitwerkselen der batterij 563
Toepassing van de ontledingen door een stroom veroorzaakt. 570
" X. Electro-magnetisme 576
" XI. Electro-magneten. Electrische telegrafen. Electromotoren 585
" XII. Inductie-stroomen. Toepassing op de geneeskunde. 605

ALPHABETISCH REGISTER

DER

IN DIT WERK BEHANDELDE ONDERWERPEN.

Met het eerste cijfer wordt de paragraaf en met het tweede de bladzijde aangewezen.

A.

Aangrijpingspunt eener kracht. 23 21
Aantrekking (gevolg der) op de beweging der hemellichamen 38 38
Aantrekking (Molecularie) . 4 4
" der aarde . . . 38 38
" (Magnetische) . 366 475
" (Wetten der Electrische) . . . 381 492
Aantrekkingskracht 37 37
Aanvullingskleuren (*nabeelden*) 333 418
Aarde (Afplanting der) . . 32 30
" (Aantrekking der) . . 38 38
Aardmagnetisme 369 479
Aardsche kijker of verrekijker. 343 431
Aberratie (Chromatische) . . 336 442
" (Spherische) . . . 318 425
Absorptie (*opslorping*) . . . 68 74
Absorbeerend vermogen . . 203 253
Accidenteele beelden . . . 333 419
" lichtkrans . . 333 419
Accoorden 171 212
Accommodeeren 361 466
Accommodatie-vermogen . . 361 466
Achromatisme 336 422
Achromatische lenzen . . . 337 423
Adhesie (*aanklevingskracht*) . 64 71
Adervlies 360 465
Aeolipyle 247 305
Aërostaten 149 187
Aether 7 7
" 283 349
Aepinus (Condensator van) . 400 520
Affiniteit (*verwantschap*) . . 63 70
" (verdichting door chemische) 239 295
Afleider (Bliksem) 416 543
Afstand van het duidelijk zien, myopie (bijziendheid) en presbytismus (verziendheid) . . 361 466
Afwijking der lichtstralen wegens hunne breekbaarheid (chromatische aberratie) . . 336 442
Afwijking door bolvormigheid 338 425
Afstootingen (Electrische) . 381 492
" (Magnetische) . 366 475
Afzonderlijke streek. . . . 374 485
Akustika (*geluidsleer*) . . . 154 195
Alarmfluit 259 323
Alcarazzas 237 293
Alcoholmeter (Honderddeelige) van A. v. d. Toorn. . . 105 122
Alcoholmeter (Honderddeelige) van Gay Lussac 105 122
Alcohol-thermometer . . . 191 240
Algemeene ontlader. . . . 408 534
Algemeene samenstelling van de optische instrumenten . 340 426
Amalgameeren van het zink der batterij 431 563
Ampère (Regel van). . . . 441 578
Ampère's theorie van het magnetisme 443 581

Amplitude *(slingerwijdte)* . . 58 64
Anemometers *(windmeters)* . 276 343
Aqueus (humor) 360 465
Archimedes (Wet van). . . 95 104
" (Toepassing van de wet van) . . 99 110
Areometer *(vochtweger)*. . . 100 111
" van Fahrenheit (Onderzoek door middel van den) . . 102 117
" met constant volume 104 120
" met veranderlijk gewicht. 104 120
" (Onderzoek met den) van Nicholson . . 101 113
Artesische bronnen 93 101
Astronomische kijker . . . 342 429
Atmospherisch werktuig . . 248 307
Atomen 4 3

B.

Bak-barometer 118 136
Balanciers 13 14
Balans (Mes-) 49 50
" (Kussens-) 49 50
" (Voorwaarden waaraan eene goede moet voldoen. 50 50
" (Middel om te bepalen of de hefboomsarmen gelijk zijn). . . . 51 52
" (Juistheid) 50 51
" (Gevoelig) 50 51
" (Gek) 50 52
" (Hydrostatische) . . 95 104
" (Onderzoek met de) Hydrostatische) . . 101 113
" (Wringings) van Coulomb 381 493
(van Quintenz) . . 53 53
Barometer (Bak-) 118 136
" (Hevel-) 120 141
" van Fortin 119 139
" (Voorwaarden voor de juistheid der aanwijzing van den). . . 121 143
" Voorkeur gegeven aan het kwik bij de samenst. van den) . . 122 144
" (Wijzer) 126 147
Barometer (Het meten der hoogte van bergen door den) 127 149
Barometerstand (Gemiddelde). 123 145
" (Oorzaken v. d. veranderingen in den). 124 145
" (Betrekking tusschen den) en den toestand van den dampkring 125 146
" (Normale) 265 331
Barometrisch-luchtledig . . 120 142
Baroscoop 148 185
Bascule 53 53
Batterij (Electrische) . . . 404 526
" (Koolzink-) 429 558
" van Bunsen. . . . 429 558
" van Daniëll. . . . 430 560
" (Amalgameeren van het zink der). . . 431 563
" (Schokken door de) . 432 564
" (Scheik. begrippen, noodig voor de theorie der).. . . . . 426 555
" van Wollaston . . . 428 557
Baumé *(vochtweger)*. . . . 104 120
Bazuin 181 225
Bedrag van den dampkringsdrukking in Ned. ponden. . 116 134
Beelden (Accidenteele). . . 333 419
" (vorming van) in holle spiegels. 305 375
" (vorming van) in bolle spiegels. 306 378
" (Eigenschappen van de) die in vlakkespiegels gevormd zijn . 298 367
" (Reëele) door biconvexe lenzen voortgebracht 322 398
Beeld (Virtueel) door eene biconvexe lens. 323 401
Bennet (Electrometer van). . 390 508
Bepalen der specifieke warmte van vaste ligchamen en vloeistoffen 246 302
Bepaling Natuurkunde . . . 1 1
" Natuurkundige verschijnselen . . . 6 6
Beukenhout (Soortelijk gewicht van. 102 119
Bevriezen (Het) 222 274

Bevriezing van water en kwik in het luchtledig. 238 293
Beweging (Volstrekte en betrekkelijke) . . 16 17
" (Rechtlijnige en kromlijnige) 17 18
" (Eenparige) 18 18
" (Veranderlijke). . . 19 18
Bewegingswerktuigen (Electro-magnetische) 454 602
Biconvex 316 393
Biconcaaf 316 393
Biconcave lenzen, brandpunten en beelden 324 402
Binocle 341 428
Bismuth (Temperatuur van smelting van) 219 272
Blaas (de Berstende) . . . 113 130
" instrumenten 181 223
Bliksem, weerlicht, donder . 413 540
" (Identiteit van den) en de Electriciteit. 411 537
" (Werkingen van den) geringaantal slachtoffers 414 541
" Afleiders 416 543
Bocaal-instrumenten. . . . 181 224
Bol van Coulomb 384 497
Bollen (Maagdenburger halve) 114 132
Bolrondheid der zee . . . 85 93
Bouw van het oog en het zien 360 463
Brandpunt 201 249
" in holle spiegels. . 302 371
" (Hoofd) 302 372
" (Geconjugeerd) van holle spiegels . . 303 372
" (Virtueel) van holle spiegels 304 374
" bij lenzen. . . . 318 395
" (Geconjugeerd) van lenzen 319 396
" (Virtueel van lenzen) 320 397
Brandspiegel 201 251
Brandspuit. 145 179
Breedte (Invloed der) op temperatuur 267 333
Brekende stoffen (Oorzaak van de straalbreking) 308 381
Brekingshoek 307 381
Brekings-index 307 381
Breking der lichtstralen. . . 307 380
" " warmtestralen. . 325 404
Bronnen, waterstroomen, putten . . 92 101
" der electriciteit . . 377 489
" (Artesische). . . 93 101
Brugbalans. 53 53
Buis van Torricelli 115 133
" " Mariotte 131 154
" " Dalton 235 291
Buizen (Capillaire) 65 72
" (Geisslersche) . . . 458 614
Bunsen (Batterij van) . . . 429 558
Bijziendheid *(myopie)* . . . 361 466

C.

Calorique 182 227
Calorifères 206 258
" 217 269
Capillariteit 65 72
" (gevolgen der) . . 67 74
Cartesiaansch duikertje (Ludion) 97 108
Centrifugaal regulatuur . . 251 317
Chamsin, Samum, harmattan 275 343
Charlières 149 187
Chemische eigenschappen van het spectrum. 329 412
Chladnische klankfiguren. . 154 197
Chloor (Dichtheid van) . . 218 271
Choroïdea 360 465
Chromatische aberratie . . 336 422
Cirrus (Vederwolk) 268 335
Coërcitiefkracht 368 479
Cohesie *(kracht van samenhang)* 63 70
Concaaf (plan) 316 393
" convex, divergeerend
Convex (plan) 316 393
Convergeerend, concaaf convex 316 393
Compensatie-slinger . . . 213 265
Complements-kleuren . . . 333 418
Composanten 25 23
Condensatie 239 295
" Electrometer. . 405 528
Condensator (Electrische). . 400 520
" van Aepinus . . . 400 521
" (Lading van den) . 400 522
" (Grenslading van den) 402 524

Condensator (Langzame ontlading van den) . . 401 523
" Plotselinge ontlading van den) 401 523
Condensor 248 307
Conductor 387 503
Consonant 171 213
Contact-theorie 422 551
Contrast der kleuren . . . 333 419
Cornea 360 464
Cornet à piston 181 225
Coulomb (Bol van). . . . 384 497
Cubieke uitzetting 185 230
Cumulus (Stapelwolk) . . . 268 335
Cijfers van het Morse-toestel. 451 595

D.

Daguerre (Wijze van werken van) 356 456
Daguerreotype 355 454
Dalton (Buis van) 235 291
Dampen, vluchtige vloeistoffen en niet vluchtige vloeistoffen 225 276
Dampen 184 229
Damp (Verwarming met). . 241 297
" (De hoeveelheid) die eene ledige ruimte, of eene die lucht bevat, is dezelfde. . . . 229 281
" (Uitzettingskracht der) 225 276
" (Grens van de vorming en spanning der). . 228 280
" (Gebonden warmte der) 236 292
" (Langzame vorming der), wanneer zij samengedrukt zijn). . . . 226 277
Dampkring (Samenstelling van den). 111 128
" (Electriciteit van den). 412 539
" (Hoogte van den). . 128 150
Dampkringsdrukking werkt in alle richtingen 129 150
" (Bedrag van de) in Ned. ponden 116 134
Dampvorming (Oogenblikkelijke) in het luchtledig. . . 227 279
Daniell (Batterij van) . . . 430 560
Dauw 270 337
Declinatie (Magnetische) . . 370 480
Declinatie (Kompas) . . . 371 481
Deelbaarheid 10 9
Destillatie 242 297
Destilleerketels 242 297
Destilleerkolf 242 298
Diamant (Soortelijk gewicht van) 102 119
Dichtheid 2 3
" (Maximum van de) van het water. . 215 267
" der gassen . . . 218 271
" van chloor . . . 218 271
" van koolzuur . . 218 271
" der lucht. . . . 218 271
" " stikstof . . . 218 271
" " waterstof . . 218 271
" " zuurstof. . . 218 271
Differentiaal-thermometers . 194 242
Diffractie 286 353
Diffusie 294 363
Diffuus-licht 294 363
Digestor van Papin. . . . 234 290
Dissonant 171 213
Divergeerend 289 356
" concaaf-convex . 316 393
Diorama 358 459
Dispersie 327 410
Dissolving-views 350 444
Donder, weerlicht, bliksem . 413 540
Donkere kamer 352 448
Draagbare donkere kamer. . 354 453
Doode punten. 249 318
Doorzichtige ligchamen . . 285 353
Doorschijnende ligchamen. . 285 352
Doorzijging (*filtratie*) . . . 12 11
Drankweger 104 120
Drukken (Warmte, ontstaan door) 279 345
Druk (Machines van lagen, hoogen en middelbaren) . . 253 317
Drukking (Invloed der). . . 230 282
" op de zijwanden, hydraulisch reactie werktuig 78 83
" (onafhankelijk van den vorm der vaten) . . 80 86
" op ondergedompelde ligchamen . . . 94 103
" die het menschelijk ligchaam ondervindt 130 151

Drukkingen, die de in de lucht zwevende ligchamen ondergaan 148 184
Drukkingsmeter (*piézometer*). 75 80
Drijfstang (Machine met gearticuleerde). 249 313
Druktelegrafen van Morse (Schrijf of) 450 591
Duikertje (Ludion of Cartesiaansch) 97 108
Dynamometer. 24 22
Dwarstrillingen der snaren . 173 214
" (Wetten der) van de snaren . . 174 215

E.

Echo en weergalm 162 203
Echo's (Merkwaardige) . . 162 204
Eenparige beweging. . . . 18 18
Eenstemmig (unisoon) . . . 168 211
Ei (Electrisch) 396 515
Eigenschappen (Algemeene). 8 7
" (Essentieele) . . 8 8
" der vloeistoffen . 75 80
" van de Inductiestroomen . . . 456 606
" (physiologische verschijnselen . . 456 606
" van de beelden, die in vlakke spiegels gevormd zijn. . 298 367
" (Herhaling van de) der biconvexe lenzen 321 398
Electriciteit (Ontdekking der) 376 488
" (Bronnen der) . . . 377 489
" (Voltasche). . . . 377 490
" doet onderscheiden (Proef die twee soorten van) 379 490
" (Glas). 379 491
" (Hars of Lak). . . 379 491
" (Invloed van den vorm der ligchamen op de ophooping der) . 385 498
" Warmte-ontwikkeling door de 408 533
" (Portretten door) . . 409 535
" (Identiteit van den Bliksem en de) . . 411 537
Electriciteit (Dampkrings). . 412 539
" (Verband tusschen Magnetisme en) . . 439 576
" op de Geneeskunde (Toepassing van de) 457 609
" (Wetten der) aantrekkingen en afstootingen 381 492
" (dierlijke) 421 551
Electriseermachine 387 502
" (Maat van de lading der) 388 504
Electriseering der geleidende ligchamen. . 383 496
" door invloed . 386 500
Electrometers 378 490
Electrometer (Goudblad) van Bennet . . . 390 508
" Wijzer . . . 388 504
" van Henley. . 388 504
" (condensatie) . 405 525
Electromotoren 422 551
Electrophoor 389 507
Electroden (Pooldraden) . . 424 553
Electro-magneten 447 585
" Magnetisch bewegingswerktuig van Froment 454 604
" magnetische bewegingswerktuigen . . 454 602
Electromotorische kracht . . 422 551
Electroscopen 378 490
Element (*paar*) 423 553
Elementen (flesch der vier) . 88 96
Electrische slinger 378 490
" vloeistof aan de oppervlakte der ligchamen (ophooping van de) 384 496
" vonk 391 510
" stoeltje 392 513
" klokkenspel . . 393 513
" rad 395 515
" ei 396 515
" condensators . . 400 520
" batterij 404 526
" verlichting . . . 434 566
" telegrafen . . . 448 586
" stroomen. (Inductie door) . . 455 605
Elms-vuur (St.) 420 548

Hippocrates (Zak van). . . 12 12
Hoef-magneet 375 487
Hoek van inval 200 249
" " uitval. 200 249
Hollandsche kijker of kijker van Galileï 341 426
Holle spiegels. 301 370
Honderddeelige alcoholmeter van Gay Lussac. 105 122
Hoofd-as 301 370
" optisch middelpunt, nevenassen 317 393
Hoofdbrandpunt in spiegels . 302 372
Hoogte (Gemiddelde barometer-) van een dag . 123 145
" van den dampkring . 128 150
" (Invloed d.) op temperatuur 267 333
Hoorbuis 166 209
Hoornvlies. 360 464
Hoozen 418 546
Horen 181 225
Horizontaal 41 40
Humor (Vitreus). 360 465
" (Aqueus). 360 465
Hydraulisch reactie werktuig. 78 84
Hydraulische pers 82 88
Hydro-oxygeen, gasvlam . . 351 446
Hydrostatisch Paradoxon. . 80 87
Hydrostatika (Waterweegkunde). 74 80
Hydrostatische Balans. . . 95 104
" " (Onderzoek met de) 101 113
Hygrometers 261 325
Hygrometer van Saussure . . 262 327
Hygrometrie (Onderwerp der) 260 324
Hygroscoop (Wringings) . . 261 325
Hygroscopen 261 325
Hypothesen (het licht) over zijn wezen 283 349
Hypothese der golving . . . 283 349
" der uitstrooming . 283 349
" van de twee magnetische vloeistoffen. 366 475
" van de twee electrische vloeistoffen . 380 491
" der golvingen . . 182 226

I.

Imbibitie (Inzuiging) . . . 68 74
Imbibitie (Gevolgen der) . . 69
Incoërcibele vloeistoffen . . 182
Inclinatie (Magnetische) . . 372
" Kompas. . . . 372
Identiteit van den bliksem en de electriciteit 411
Index (Brekings). 307
Indifferent evenwicht . . . 47
Induceerende stroomen . . 455
Inductie door electrische stroomen 455
Inductiestroom (Eigenschappen van den) . 456
" (Physiologische werking van den) 456
" (Physiche en Mechanische) . 458
Inkrimpen 184
Inktkoker (Hevel) 142
Insolatie 284
Instabiel evenwicht 47
Instrumenten (Optische) . . 389
" (Algemeene samenstelling van de optische) . . . 340
Instrumenten van vasten toon 176
" " verand. toon 176
" (Bokaal) . . . 181
" (Blaas) . . . 181
" (Snaar) . . . 176
Intensiteit eener kracht. . . 23
Intensiteit van het licht . . 291
Intermitteerende fontein . . 141
Intervallen. 171
Invallende straal 307
" " 200
Invallingshoek 307
" 200
Invloed der drukking . . . 230
" " " . . . 233
" van den aard der vaten. 232
" der breedte } op 267
" der hoogte } tempe- 267
" der winden } ratuur. 267
" van de nabijheid der zeeën 267
" der stoffen die opgelost zijn. 233
" van de uitgestrektheid der vloeistof . . . 230

ıvloed van de vernieuwing van lucht 230 282
" van de temperatuur . 230 282
" der magneten of magnetische ligchamen . 367 478
" der aarde (Magnetiseering door den magnetischen) 373 484
" van den vorm der ligchamen op de ophooping der electriciteit (vermogen der punten). 385 498
" der geëlectriseerde ligchamen op ligchamen, die in den neutralen toestand zijn. 386 500
" (Electriseering door) . 386 500
ıwendige terugkaatsing . . 311 387
'is (Regenboogvlies) . . . 360 464
radiatie 334 420
ıochronisme 60 66
ıochronisme van den slinger. 61 66
ıechronisch 213 265
voor (Soortelijk gewicht van) 102 119
uistheid-Balans 50 51
ımelles 341 428

K.

aarsvet (Temperatuur van smelting van) 219 272
amer (Donkere) 352 448
" (Draagbare donkere). 354 453
" (Omgekeerd beeld in eene donkere). . . 352 449
" (Gang der lichtstralen in de prismatische donkere) 354 454
" (Vorming der beelden in eene donkere). . 353 452
" Het weder rechtkeeren der beelden in eene donkere) 353 452
ammen 387 503
erk-orgel 181 224
euze eener warmte eenheid (Calorie) 244 300
lankfiguren (Chladnische) . 154 197
leuren (Enkelvoudige) . . 328 412
Kleuren der ondoorschijnende ligchamen 331 415
" der doorschijnende ligchamen 332 417
" (contrast der). . . 333 419
Kleurschijf van Newton . . 330 415
Klokje in het luchtledige . . 157 199
Klokkenspel (Electrisch) . . 393 513
Klos van Ruhmkorff . . . 458 611
Koking 231 283
" (Wetten der) . . . 282 283
" (Oorzaken der veranderingen van temperatuur der) . . . 233 285
" in het luchtledig . . 233 285
Kolom van Volta 423 552
" (Spanning der polen, pooldraden, stroomen 424 553
" (Scheikundige theorie der Voltasche) . . 425 554
Kompas (Declinatie) . . . 371 481
" (Inclinatie) . . . 372 483
Kookpunt op den thermometer 188 236
Kookwerktuig van Franklin. 233 287
Koolzink-batterij 429 558
Koper (Coëfficient van lineaire uitzetting van) . . . 211 263
" (Specifieke warmte van) 246 303
Koude (Bronnen van) . . . 281 346
" ontstaan door uitzetting der gassen . . 281 346
" ontstaan door de uitstraling bij nacht . 282 347
" (voorbeelden van) veroorzaakt door het absorbeeren der warmte in den gebonden toestand 237 293
Koudmakende mengsels . . 224 276
Koudwaterpomp 248 309
Kracht 22 20
" (Aangrijpingspunt eener) . . . . } 28 21
" (Richting eener) . } 28 21
" (Grootte eener) . } 28 21
" (Middelpunt vlied.) (*centrifugaal*) . . 20 28
" van samenhang . . 68 70
" (Coërcitief) . . . 368 479

Kracht (Electromotorische) . 422 551
" (Maat van de) van stoommachines (Paardenkracht) 255 319
" (Gevolgen der middelpunt vliedende) . . 31 30
Krachten (Moleculaire). . . 4 3
" (Parallelogram van) 26 24
" (Evenwijdige) . . 28 27
" (Evenwicht der). . 29 27
" (Onderscheidene kenmerken der). . . 23 21
" (Maat van de) in kilogrammen . . . 24 22
Kristallens 360 464
Kristalvorming 223 275
Kromming (Middelpunt van) 301 370 / 317 393
Kunst-magneet 464 473
Kurk (Soortelijk gewicht van) 102 119
Kussens van de balans. . . 49 50
Kustlichten (Phares). . . . 326 405
Kwik (Soortelijk gewicht van) 102 119
" (Specifieke warmte van) 246 303
" (Temperatuur van smelting van). 219 272
Kwik-thermometer (Samenstelling van den) 187 233
Kijker (Astronomische) . . 342 429
" (Hollandsche) . . . 341 426
" (Aardsche) 343 431

L.

Laagvormige wolk (stratus) . 268 335
Langzame vorming der dampen wanneer zij samengedrukt zijn 226 277
Langzame en plotselinge ontlading van den condensator; onllaadtang 401 523
Lading van den condensator. 400 522
Last van den hefboom . . . 34 33
Latente warmte 221 273
Leidsche flesch 403 524
Lens (Biconcave) . . . / " (Biconvexe) . . . 324 402
" (Convergeerende). . . 316 392
" (Divergeerende) . . . 316 393
" (Divergeerend concaafconvex) 316 393
Lens (Convergeerend concaafconvex) 31
" (Plan-concaaf) . . . 31
" " convex 31
" (Trapvormige). . . . 32
" (Achromatische) . . . 33
" (Reëel beeld voortgebracht door eene convergeerende 32
" (Virtueel beeld voortgebracht door eene convergeerende) 32
" (Virtueel beeld voortgebracht door eene divergeerende) 324
" (Reëele beelden door eene biconvexe) voortgebracht 322
" (Herhaling van de eigenschappen van de biconvexe) 321
Lenzen (Verschillende soorten van) 316
" (Hoofdas bij). . . 317
" Optisch middenpunt bij) 317
" (Neven-assen bij) . 317
Leesteekens (*telegrafie*). . . 451
Letters voor het morse-toestel 451
Licht (Het). 283
" (Voortplanting van het in eene rechte lijn) . 289
" (Snelheid van het) . . 290
" (Intensiteit van het . 291
" De terugkaatsing van het) is nooit volkomen. 293
" (Diffuus) 294
" (Breking van het) . . 307
" (Wetten der terugkaatsing van het) . . . 292
" uit de prismatische kleuren (Samenstelling van het witte). 330
" (Opslorp. [absorptie] v.) 285
Lichtboog (Galvanische) . . 434
Lichtbronnen 284
Lichtbundel 289
Lichtgevend ligchaam . . 284
Lichtgevende, warmtegevende, en chemische eigenschappen van het spectrum 329

ichtstraal 289 355
ichtstralen door een prisma
" (Gang van de) . . 315 390
" door biconvexe lenzen 318 395
" in den verrekijker (Gang der) . . . 343 431
" wegens hunne breekbaarheid (Afwijken der) 336 422
" door een astronomische kijker (Gang d.) 342 430
" in den kijker van Galilei (Gang der). . 341 428
" in den samengestelden microscoop (Gang der) . . . 346 437
" in den telescoop van Newton (Gang der). 344 432
" in den stereoscoop (Gang van de). . 363 469
ichttorens. 326 405
ichtverschijnselen . . . 407 532 / 434 566
igchaam (Luchtdrukking op het menschelijk) 130 151
igchamen. 2 2
" (Enkelvoudige en samengestelde) . . 3 3
" (Innerlijke samenstelling der). . . 4 3
" (Vaste, vloeibare, gasvormige) 5 5
" (Gewicht der) . . 43 42
" (Evenwicht der zware) 46 44
" (Wetten v. d. val der) 54 56
" (Drukking op ondergedompelde). . . 94 103
" (Invloed van magneten op magnetische) 367 478
" (Ophooping van de Electrische vloeistof aan de oppervlakte der) 384 496
" (Invloed der geëlectriseerde op ligchamen die in den neutralen toestand zijn) 386 500
" (drukkingen, die in de lucht zwevende ondergaan) 148 184
Ligchamen (Evenwicht van ingedompelde en drijvende). 96 107
" (Bepaling van het soortelijk gewicht der vaste). . . . 101 112
" (Ondoorschijnende, doorzichtige, doorschijnende) . . . 285 352
" (Theorie van Newton over de kleuren der ondoorschijnende) . 331 415
" (Kleuren der doorschijnende) . . . 332 417
" (Geleidende) . . / " (niet geleidende). 382 495
" (Isoleerende) . . . 382 496
" (Electriseering der geleidende) 383 496
Ligchaam (drukking, die het menschelijk ondervindt) . . 130 151
Lineaire uitzetting 211 263
Lipwerk in orgelpijpen . . 177 219
Longitudinale trillingen . . 173 215
Lood (Soortelijk gewicht van) 102 119
" (Coëfficient van lineaire uitzetting van) . . . 211 263
" (Temperatuur van smelting van) 219 272
Loodlijn 39 38
Loup 346 436
Lucht (Over de). 108 126
" (Dichtheid der). . . 218 271
" (Uitzettingsvermogen der) 109 127
" (Gewicht der) . . . 110 128
" (Vochtigheidstoestand der) 263 328
" (Invloed van de vernieuwing van) . . . 230 282
Luchtbollen (Toepassing v. d.) 153 193
" (Merkwaardige opstijgingen in) 152 192
" (Het vullen en opstijgen der) . 150 187
" (Uitvinding der). 149 186
Luchtdrukking op het menschelijk ligchaam 130 151
Luchtledig (Bevriezing v. water en kwik in het). . . . 238 293

Luchtledig (Koking in het) . 233 285
" (Oogenblikkelijke dampvorming in het). 227 279
Luchtledige (Toepassing van het) op de bewaring van voedingsmiddelen 138 167
Luchtperspomp 139 168
Luchtspiegeling 312 387
Luchtpomp 248 308
" (Verklikker van de). 136 166
" (Verschillende proeven met de). . . 137 167
Luchtvuurtuig. 279 345
Ludion of Cartesiaansch duikertje 97 108

M.

Maagdenburger halve bollen . 114 131
Maat van de veerkracht van waterdamp 235 290
" van de lading der electriseermachine . . . 388 504
" van de kracht van stoommachines (Paardenkracht) . 255 319
Machine met gearticuleerde drijfstang 249 313
Machines van lagen, hoogen en middelbaren druk. 253 317
" zonder uitzetting . 254 318
" met uitzetting . . 254 318
Magneten (Invloed van) op magnetische ligchamen 367 478
" door de ligchamen heen (Werking d.) 366 476
" (Richtende kracht der stroomen op). 440 577
" op stroomen (Werking van) . . . 442 578
" (werking van) op stroomen . . . 442 578
" (Electro-) . . . 447 585
Magnetische meridiaan, declinatie, veranderingen . . . 370 480
Magneetkracht in de magneten (Verbreiding van de) . 365 474
Magneetsteen 364 473
Magnetiseering door den magnetischen
der aar
Magnetiseering door enkele streek 373 483
" door strijken . . 374 485
" door stroomen. . 446 584
Magnetisme 364 473
" (Opwekking van). 367 478
" (Ampère's theorie van het) . . . 443 581
" en electriciteit (Verband tusschen) . . 439 576
Manometers 132 157
" met vrije luchtdrukking. . . 132 158
" met samengeperste lucht. . . 122 159
Massa 2 2
Maximum en minimum thermometer . . . 266 322
" van de dichtheid van het water. . 215 267
Mechanische werkingen . . 410 536
Melkweger. 106 123
Mengsels (Koudmakende) . . 224 276
Meniscus 316 393
Mes (Balans) 49 50
Meridiaan (Magnetische) . . 370 480
Metaaloxyden (Ontleding van en zouten). 436 569
Methode van de smelting van ijs 246 302
" der mengsels . . . 246 303
Meteoren 417 545
Metronome. 62 69
Microscoop (Enkelvondig). . 346 435
" (Samengestelde) . 346 436
" (Uitvinding en gebruik van den). 347 438
" (Photo-electrische) 351 445
Microscopen 346 439
Middel om te bepalen of de hefboomsarmen eener balans gelijk zijn. . . . . 51 [illegible]
Middelpunt van kromming { 301 [illegible] / 317 [illegible]
Middelpunt (figuurs) . . . 301 [illegible]
" (optisch) . . . 317 [illegible]
Middenstoffen (door evenwijdige vlakken begrensd) . . 313 [illegible]
Mist (Vorming van den) . . 268 [illegible]
Moleculen 4
Monochromatisch . . . . 332 [illegible]

Morse (Schrijf of druktelegraaf van) 450 591
" Sleutel en ontvanger van) 451 592
" Verbetering van den telegraaf van . . . 452 597
Moussons 274 342
Multiplicator 444 581
" (Gebruik van den) 445 583
Muntpers 13 14
Mussief goud 388 505
Muzikale schaal 170 211
Myopie (Bijziendheid) . . . 361 466

N.

Naald of tong van de balans . 49 50
" Telegraaf 448 587
Nabeelden 333 418
Namen der winden 272 340
Natuurkunde (Onderwerp der) 1 1
Natuurlijke en kunstmagneten 364 473
" vloeistof. . . . 380 492
Netvlies (*retina*) 360 465
Neven-as 301 370
Neven-assen 317 393
Newton (Kleurschijf van) . . 330 415
Nimbus (regenwolk) 268 335
Niviau of waterpas der vloeistoffen 84 92
" waar en schijnbaar . 85 93
Nivelleer-werktuig 89 97
" lat 89 98
" werktuig met luchtbel . . 90 99
Noorderlicht 419 547
Noordewind 272 340
Noord-oostewind 272 340
Noord-westewind. . . . 272 340
Normale thermometerstand . 265 330
" barometerstand . . 265 331
Normaal 307 381
Nulpunt v. d. thermometer . 188 236

O.

Objectief 340 426
Oculair 340 426
Olijfolie (Soortelijk gewicht v.) 102 119
Ondoordringbaarheid . . . 9 8
Onderwerp der hygrometrie . 260 324
Ontbinding eener kracht . . 27 27
Ontdekking der electriciteit . 376 488
Onderscheid tusschen muzikaal en niet muzikaal geluid . . 167 210
Onderwerp der geluidsleer. . 154 195
" der meteorologie . 264 328
Onderzoek met den areometer van Nicholson 101 113
Ondoorschijnende ligchamen . 285 352
Onregelmatige terugkaatsing, diffuus licht 294 363
Ontlading (Langzame en plotselinge van den conductor . 401 523
Ontvanger (recipiënt) . . . 135 164
Ontlaadtang 401 523
Ontlader (Algemeene) . . . 408 534
Ontleding van metaal-oxyden en zouten . . . 436 569
" van het water . . 435 567
Ontvanger van Morse (Sleutel en) 450 591
Oog (Bouw van het) . . . 360 463
" (Wit van het) 360 464
" (Glasachtig vocht v. h.) . 360 465
" Waterachtig vocht v. h.). 360 465
Oogen (Enkelvoudig zien met de beide) 362 468
Oogenblikkelijke dampvorming in het luchtledig 227 279
Oogappel 360 464
Oogrok (Harde) 360 464
Oorzaak der warmte . . . 182 226
" der winden. . . . 273 340
" van de straalbreking. 308 381
" van het geluid. . . 154 195
Oorzaken, die de sterkte der uitstralende warmte doen veranderen. . 198 246
" die het terugkaatsende, absorbeerende en uitstralende vermogen wijzigen . . 205 255
" die de verdamping versnellen 230 281
" der verandering van temperatuur van het koken 233 285
" die de verdichting der dampen bepalen 239 295
" die de temperatuur der lucht wijzigen . 267 333

Oorzaken van de veranderingen in den barometerstand 124 145
" die de sterkte van het geluid wijzigen . . 163 206
Oostewind 272 340
Ophooping van de Electrische vloeistof aan de oppervlakte der ligchamen 384 496
Opslorping (*absorptie*) . . . 68 74
" van licht . . . 265 352
Optika 283 349
Optisch middelpunt 317 393
Optische instrumenten . . . 339 425
Orgelpijpen (Lipwerk van) . 178 219
" (Tongwerk van). 179 220
Oscillatie 58 64
Over den regen 269 336
" de gassen in het algemeen 107 125
Ozon. 414 542

P.

Paar (Element) 423 553
Pakking-bos 249 310
Parachute (*valscherm*) . . . 151 191
Paradoxon (Hydrostatisch) . 80 87
Parallelogram van krachten . 26 25
Parallelogram van krachten (stelling van het) 26 25
Papiaansche pot 234 288
Papin (Digestor van) . . . 234 290
Pascal (Proef met het vat van) 81 88
" (Proeven van) . . . 117 135
Pereodieke winden 274 341
Periscopische glazen . . . 361 467
Permanente gassen 107 126
Pers (Hydraulische) 82 88
Perspomp (Zuig- en) . . . 146 182
Perspomp 144 178
Perturbatiën 370 481
Phantasmagorie 349 441
Phosphorescentie. 284 350
Moto-electrische microscoop . 351 445
nangraphie 355 455
Magnee... op papier. . . 357 458
ten (Veers 291 358
Magneetsische verschijnselen. 432 563
Magnetise " 456 606
werking der inducie-stroomen . . . 456 607
Physiologische werkingen . . 406 529
Physische en mechanische werkingen door inductiestroomen 458 611
Piézometer (*drukkingsmeter*) . 75 80
Pistool van Volta 399 519
Piston (Cornet à) 181 225
Plan convex 316 393
" concaaf 316 393
Platina (Soortelijk gewicht van) 102 119
" (Coëfficient v. lineaire uitzetting van) . . 211 263
" (Specifieke warmte v.) 246 303
Polen 365 474
" (Magnetische) . . . 465 474
" (Aantrekking tusschen de ongelijkmatige). . 366 475
Polyorama 350 444
Pool (Positieve en negatieve). 424 553
Pooldraden (Electroden) . . 424 553
Poppendans (Electrische) . . 394 514
Populierhout (Soortelijk gewicht van) 102 119
Poreusheid of ijlheid . . . 11 9
Portretten door electriciteit . 409 535
Positieve vloeistof 380 492
Pot (Papiniaansche) . . . 234 288
Presbytismus (*verziendheid*) . 361 466
Prisma's 314 389
Prisma (Gang van de lichtstralen door een) 315 390
Proef van Galvani 421 549
" " Volta. 422 551
Proefschijfje 385 498
Proef die twee soorten van electriciteit doet onderstellen 379 490
Proeven over de straalbreking 309 282
Punten (Doode) 249 313
Pupil (*oogappel*) 360 464
Putten 92 101
" (Artesische) 93 191
Pijpen met een mondstuk (*lipwerk*) 178 219
" met tongwerk . . . 179 220
Pyrometers. 195 244

R.

Rad (Electrisch) 395 515
Reactie-werktuig (Hydraulisch) 78 84
Rechtlijnige en kromlijnige beweging. 17 18

ecipient (*ontvanger*) . . . 243 300
eëele beelden door biconvexe enzen voortgebracht . . . 322 398
eflector 201 250
eflectie van het geluid . . 161 203
efractie 197 246
egelmatige winden. . . . 274 341
egen 269 336
egenboog. 335 420
egenwolk (nimbus) . . . 268 335
egenboogvlies (*iris*) . . . 360 464
egel van Ampère 441 578
egulateur (*centrifugaal*) . . 251 317
ekbaarheid 72 78
éophoren 424 554
esultanten 25 23
" (Waarde der) . . 26 24
etina (*netvlies*) 360 465
heometer 444 581
ichting der magneten naar het noorden . . 369 479
" eener kracht. . . 23 21
" volgens welke wij de voorwerpen zien . 295 364
ing van 's Gravesande . . 185 231
ood koper (Soortelijk gewicht van) 102 119
ol der aarde bij het overbrengen der galvanische stroomen 449 590
uhmkorff (klos van) . . . 458 611
uimte (Verzadigde) . . . 228 280
ust (Volstrekte en betrekkelijke) 16 17
ijp of rijm 270 329

S.

amum 275 343
amendrukbaarheid. . . . 13 13
amenstelling van den dampkring 111 128
" van het witte licht uit de prismatische kleuren 330 413
" (algemeene — van de optische instrumenten) 340 426
Samentreffen der geluidsgolven 156 198
Schaal (Muzikale) 170 211
Schaduw 286 353
Schaduwbeelden 288 354
Schalen van de balans . . . 49 50
Scheepsroeper. 165 209
Scheikunde. 1 1
Scheikundige verbindingen en verbranding . . . 278 344
" theorie der kolom . 425 554
" begrippen, noodig voor de theorie der batterijen. 426 555
" werkingen; ontleding van het water. 435 567
Schietlood 42 41
Schrijf- of druk-telegraaf van Morse 450 591
Sclerotica 360 464
Seculair. 370 481
Seingever (Sleutel) 450 591
Seinteekens voor den Morse-toestel 451 595
Seingevend kantoor. . . . 451 592
Sein-ontvangend kantoor . . 451 593
Sein-ontvanger van den telegraaf van Morse 451 594
Sirocco 275 343
Slechte geleiders. 207 258
Sleutel en ontvanger v. Morse 451 592
Slinger 58 63
" (Enkelvoudige en samengestelde). . . 59 64
" (Compensatie-) . . 213 265
" (Electrische) . . . 378 490
" (Isochronismus v. d.) 60 66
Slingeringen (oscillatie) . . 58 64
" van den slinger.
" (Wetten der). . 60 65
" (Amplitude der) 58 64
Slingering (Enkelvoudige). . 58 64
" Dubbele of volledige). 58 64
Slingerwijdte (*amplitude*) . . 58 64
Smelting 219 272
" (Wetten der). . . 220 273
Snaar-instrumenten 176 217
Snaren (Dwarstrillingen der) . 173 214
" (Wetten der dwarstrillingen van de) . . 174 215
" (Bevestiging van de waarheid der v omtrent de gen der).

Sneeuw 271 339
Snelheid der winden . . . 276 343
" van het licht 290 356
" van het geluid in vloeistoffen en vaste stoffen. 160 202
" van het geluid in de lucht 159 200
" en voortplanting; onderzeesche telegrafen . . 453 598
Solenoiden. 442 580
Sonometer 175 216
Soortelijk gewicht 100 111
" " (Onderzoek — Hydrostatische balans 101 113
" " (Onderzoek met den areometer van Nicholson). 101 113
" " (Bepaling der vloeistoffen). . 102 116
" " (Onderzoek vloeistoffen met hydrostatische balans 102 116
" " (Onderzoek vloeistoffen areometer van Fahrenheit) 102 117
" " (Onderzoek vloeistoffen met het fleschje) . . . 102 118
" " (Gebruik). . . . 103 119
Spanning 107 125
" der kolom, polen, pooldraden, stroomen . . 424 553
Spectrum (Lichtgevende eigenschappen van het). 329 412
" (De zeven kleuren van het) zijn enkelvoudig. . . . 328 412
" (Warmtegevende eigenschappen van het) 329 412
" (Chemische eigenschappen van het). 329 412
" (Zonne). 327 410
Specifieke warmte 245 301
" " (Het bepalen der) van vaste ligchamen vloeistoffen 246 302
Spherische aberratie, afwijking door bolvormigheid . . . 338 425
Spiegelbeeld (Virtueel). . . 298 368
" (Reëel) . . . 298 368
Spiegeling 294 363
Spiegels (Vlakke) 296 364
" (Vorming van beelden in vlakke) . . 297 366
" (Veelvuldige beelden in glazen) . . 299 368
" (Holle) 301 370
" (Uitwerkselen van de terugkaatsing van de warmte op holle). 201 249
" (Brandpunt in holle). 302 371
" (Vorming van beelden in holle) . . 305 375
" (Vorming van beelden in bolle) . . 306 378
Spreekbuizen (Sterkte van het geluid in de). 164 207
Spuitkast 145 180
Staal (Coëfficient van lineaire uitzetting van) 211 263
Standvastig evenwicht . . . 47 46
" " (Voorbeelden van 48 46
Stapelwolk (cumulus) . . . 268 335
Sterkte van het geluid in de spreekbuizen. 164 207
Stelling van Pascal. . . . 76 81
Steekhevel 129 151
Stemdraad 179 221
Stemvork 172 213
Stereoscoop 363 468
" (Gang der lichtstralen in den) . . . 363 469
Steunpunt van den hefboom 33 34
Stikstof (Dichtheid der) . . 218 271
Stoeltje (Electrisch). . . . 392 513
Stof 2 2
Stoffen (Lichtbrekende) . . 308 381
" Bedrag van de uitzetting der vaste) . . 301 381
" (Evenwicht van in communiceerende vaten) 87 95
" (Veerkrachtige) . . 107 125
Stoom (Verdeeling van den) . 250 315
Stoomketel. 256 319
Stoomschuif 250 314

toomwerktuig (Aandeel van Watt in de uitvinding v. h.) 248 306
oommachines-paardenkracht Maat van de kracht van). . 255 319
:oommachines(Uitvinding d.) 247 304
:ooten (Warmte, ontstaan door —) 279 345
traal (invallende) 307 381
" (gebroken). 307 381
:raalbreking (Verschijnsel van de) . . 307 380
" (Oorzaak van de) 308 381
" (Proeven over de) 309 382
" (Geval waarin de) in terugkaatsing overgaat . . . 311 386
" (Verschillende gevolgen van de). 310 384
tratus (laagvormige wolk) . 268 335
treek (enkele) . . . . } 374 485
" (afzonderlijke) . . }
" (dubbele) . . . . }
troom (vergulden en verzilveren door den) 438 573
troomen (magnetiseeren door) 446 584
" (Inductie door electriciteit 455 605
" (Richtende kracht der aarde op de) . 442 578
" (De rol der aarde bij het overbrengen der galvan.) . 449 590
trooming van het water. . 87 93
trijken (magnetiseering door) 374 485
ublimeeren 223 276

T.

'aaiheid 70 77
'egenvoeters 41 41
'elegrafen (Electrische) . . 448 586
" (Wijzer). 448 589
" (Naald) 448 589
" (Druk) 450 591
" (Onderzeesche) .. 453 598
'elegraaf (Theorie van den) . 448 588
" van Morse (Seinontvanger van den) . 451 594
'elegraafdraad 450 591
'elegram 450 591
'elescoop 344 432
Telescoop van Newton . . 344 433
" " Herschell . . 345 434
Temperatuur 186 233
" (Invloed van de). . 230 282
" (Gemiddelde). . . . 265 329
" (Oorzaken die de der lucht wijzigen) . . 267 333
" (Beweegbaar evenwicht van) . . . 199 247
" (De) verandert niet zoolang de koking duurt 232 284
" (Oorzaken der verandering van) van het koken . . . 233 285
Temperatuur van smelting van antimonium, bismuth, goud, kaarsvet, kwik, lood, tin, was, ijs, zilver, zink en zwavel 219 272
Terpentijnolie (Soortelijk gewicht van) 102 119
Terugkaatsing van het geluid. 161 203
" der warmte . . 200 248
" van het licht (regelmatige) . 294 363
" van het licht (onregelmatige) 294 363
" van het licht door doorschijnende voorwerpen 300 369
" (Wetten der van het licht). . . 292 360
" (De van het licht is nooit volkomen) 293 362
" (Inwendige) . . 311 387
Terugkaatsend vermogen van verschillende stoffen . . . 202 251
Terugslag 415 542
Theorie (Contact) 422 551
" van den telegraaf . 448 588
" (Scheikundige). . . 422 551
" van Newton, over de kleuren der doorschijnende ligchamen 331 415
Thermometer 186 233
" (Samenstelling van den kwik) . . .

Thermometer (Bepaling van het kookpunt op den). 188 236
" (Graadverdeeling van den) . . . 188 235
" (Bepaling van het nulpunt van den). 188 236
" (Alcohol). . . . 191 240
" (Differentiaal) . . 194 242
" Maximum en minimum) 266 332
" (Keuze tusschen den kwik- en den alcohol-). 192 240
" (Voorwaarden bij het waarnemen van den te vervullen) . . 193 241
Thermometerschalen (Verschillende) . . 189 238
" (Keus tusschen den kwik en den Alcohol). . . 192 240
" (Voorwaarden bij het waarnemen van den) te vervullen . . . 193 241
" van Rumford (Thermoscoop). 194 243
Thermoscoop (Thermometer van Rumford) 194 243
Thermometerstand (normale). 265 330
Tin (Temperatuur van smelting van). 219 272
Toepassingen 288 354
" (Verschillende) .
" van de wet van Archimedes. . 99 110
" van het luchtledige op de bewaring van de voedingsmiddelen. 138 167
" (Verschillende) . 210 261
" (Talrijke) van de uitzetting der gassen . . . 217 269
" (schaduw). . . 288 354
" der hefboomen . 36 35
" van de electriciteit op de geneeskunde . . 457 609
Toepassingen van de luchtbollen. . . . 153 193
" der traagheid . 21 19
" der wetten van der slinger . . 61 66
" van het evenwicht der druppvormige vloeistoffen . . 89 97
Tong. 179 220
Tong of naald van de balans 49 50
" (Aanslaande) 179 220
" (Vrije) 179 222
Tongwerk der orgelpijpen. . 179 222
Toon (vasten). 176 217
" (veranderlijken) . . . 176 217
Toonen (Lage en hooge) . . 167 210
" (Grens der waarneembare. . . . 169 211
" (Instrumenten van vaste) 176 217
" (Instrumenten van veranderlijke) . . 176 217
Tooneelkijker 341 428
" (dubbele) . . 341 428
Tooverlantaarn 348 440
Torricelli (Buis van) . . . 115 133
Traagheid of volhardingsvermogen 20 19
Traagheid (Toepassing der) . 21 19
Transversalen 173 215
Trillingen van de snaar . . 154 195
Trog (Galvanische) 427 556
Trommelvlies 155 197
Trombone 181 225
Trompet 181 255

U.

Uitgebreidheid 8 7
Uitstralingsvermogen . . . 204 254
Uitstraling (Hypothese van) . 182 226
Uitvinding der stoommachin. 247 304
Uitzetbaarheid 107 125
Uitzetting 184 229
" (Linéaire) 211 263
" (Toepassingen der) van vaste stoffen . 212 264
" (Cubieke) 211 264
" door warmte . . . 185 230
" (Coëfficient van cubieke) 211 264

Uitzetting (Bedrag der) van de gassen 216 269
Uitzettingskracht der dampen.
" vermogen der lucht. 109 127
Uitzetting der gassen (Talrijke toepassingen van de). 217 269
" (Ware en schijnbare) der vloeistoffen . . 214 267
" (Toepassingen der) van vloeistoffen . . . 212 264
" (Bedrag van de) der vaste stoffen . . . 211 262
" (Proeven, die de) bewijzen 185 230
Uitzettingsvermogen der lucht 109 127
Unisoon. 168 211
Unster 24 23
Uurwerk 61 66

V.

Vaatvlies 360 465
Val der ligchamen (Wetten van den) 54 56
Valscherm (Parachute). . . 151 191
Vat van Pascal 80 86
Vederwolk (cirrus) 268 335
Veerkracht en hare soorten . 14 14
" (Toepassingen der) 15 16
" (Maat van de) van waterdamp. . . 235 290
Veiligheisdklep 258 322
Veranderingen (Magnetische). 370 480
Veranderlijke beweging . . 19 18
Veranderlijke winden . . . 274 341
Verband tusschen electriciteit en magnetisme 439 576
Verbindingen (Scheikundige en verbranding 278 344
Verbranding 278 344
Verbreiding van de magneetkracht in de magneten. . . 365 474
Verdamping 230 281
Verdeeling van den stoom. . 250 315
Verdichting (Oorzaken die de) der dampen bepalen 239 295
" door chemische affiniteit 239 295
" der drukking. . . 239 295
Verdichting door verkoeling . 239 296
" gedurende de losgemaakte warmte. . 240 297
Vergulding door de galvanische batterij 438 574
Verbetering van den telegraaf van Morse 452 597
Verband tusschen magnetisme en electriciteit 439 576
Verdikte golf 155 198
Verdunde golf 155 198
Verfoelisel 296 365
Veelvoudige beelden in glazen spiegels 299 368
Vergulden en verzilveren door den stroom 438 573
Verklikker van de luchtpomp. 136 166
Verlichting (Electrische) . . 434 566
Vermogen (Terugkaatsend) van verschillende stoffen 202 251
" (Absorbeerend). . 203 253
Verrekijker. 343 431
Verschijnselen van de straalbreking . . . 307 380
" bepaling. . . 6 6
" (Oorzaken der warmtegevende) 6 6
" (Galvanische) . 434 566
" (Capillaire, haarbuis) 65 72
" (Physiologische). 432 565
" (Warmte-). . . 408 633
Verticaal 41 40
Verwantschap (Affiniteit) . . 63 70
Verwarming met damp . . . 241 297
" (Wijze van) . . 208 259
Verziendheid (Presbytismus . 361 466
Verzilvering door de Galvanische batterij. 438 574
Views (Dissolving) 350 444
Visschen (Zwemblaas der) . . 98 109
Virtueel brandpunt 320 397
" beeld door eene biconvexe lens . . . 323 401
Verschillende gevolgen van de straalbreking. 310 384
Verschillende soorten van lenzen 316 392
Vizier (Mikpunt). . . . . [illegible]

Vitreus (Humor) 360 465
Vlak (Hellend) 55 57
Vlakke spiegels 296 364
Vlam 278 345
Vliegwiel 249 313
Vloeibaarmaking der gassen . 243 299
Vloeistoffen (Positieve en negatieve) 380 492
" (Onweegbare). . . 6 6
" (Eigenschappen der) 75 80
" (Overbrenging van de drukking der) in alle richtingen . 76 81
" Drukking van beneden naar boven) 79 85
" Evenwicht der drupvormige 83 91
" (Niveau of waterpas der) 84 92
" (Evenwicht van) in communiceerende vaten 86 94
" (Evenwicht van ongelijksoortige drupvormige) in communiceerende vaten 87 95
" (Bepaling van het soortelijk gewicht der) 102 116
" (Geleidende) . . . 208 259
" (Ware en schijnbare uitzetting der . . 214 267
" (Vluchtige) . . . 225 276
" (Vaste) 225 276
" (Magnetische). . . 366 475
" (Hypothese van de twee Electrische) . 380 491
" (Hypothese van uitstraling 182 226
" (Hypothese van golvingen. 182 226
" (positieve) . . . } 380 492
" (negatieve). . . }
" (vluchtige en niet vluchtige dampen). 225 276
Vloeistof (Invloed van de uitgestrektheid van de) 230 281
Vlotter 257 321
Vocht (glasachtig) 360 465
(waterachtig). . . . 360 465
Vochten (Drukking in de) . 77 83
" (Drukking der) op de zijwanden . . . 78 83
" (Evenwicht van verschillende) die op elkaar rusten . . 88 96
Vochtigheidstoestand der lucht 263 328
Vochtweger (Areometer) . . 100 111
" van Baumé . . 104 120
" " Nicholson . 101 113
" " Fahrenheit . 102 117
" " v. d. Toorn. 104 120
Voedingspomp 248 309
Voet. 178 220
Volgpunten (Magnetische) . 365 474
Volhardingsvermogen (Traagheid) 20 19
Volstrekte en betrekkelijke beweging. 16 17
Vonk (Electrische) 391 510
Volta (Proef van) 422 551
" (Kolom van) 423 552
" (Pistool van). . . . 399 519
Volta'sche Electriciteit . . . 377 490
Voorbeelden van koude, veroorzaakt door het absorbeeren van warmte in den gebonden toestand 237 293
Voorkeur gegeven aan het kwik bij de samenstelling van barometers 122 144
Voortbrenging van het geluid in vloeistoffen en in vaste stoffen 158 200
Voortplanting van het geluid. 155 197
" " " licht . 289 355
" der warmte op eenen afstand 289 355
" Snelheid van . 453 593
Voorwaarden, waaraan eene goede balans moet voldoen 50 50
" van evenwicht van de hefboomen. . 35 34
" voor de juistheid der aanwijzingen van den barometer 121 143
Voorwerpen (Richting volgens welke wij de zien 295 364

Voorwerpen (Terugkaatsing der doorschijnende 300 369
Vorming van de wolken en den mist 268 335
" van beelden in holle spiegels 305 375
" van beelden in bolle spiegels 306 378
Vuur. 183 228
" (St. Elms) 420 548
Vuurgangen 256 321
Vuurstof 182 227
Vuurmaat 195 244

W.

Waarde der Resultanten . . 26 24
Waarnemingen (Weerkundige)
Wapening van de Magneten. 375 487
Warmte (Algemeene opmerking over de) . . 184 228
" (Gebonden, gedurende de smelting geabsorbeerd) . . 221 273
" (Gedurende de verdichting losgemaakte) 240 297
" (Het geleiden der bij vaste ligchamen . 201 249
" (Voortplanting der) op een afstand . . 196 245
" (Wetten van het uitstralen der) . . . 197 245
" (Oorzaken, die de sterkte der uitstralende) doen veranderen 198 246
" (Wet van de terugkaatsing der) . . 199 247
" (Uitwerkselen van de terugkaatsing van de) op holle spiegels 201 249
" (Gebonden) der dampen. 236 292
" (Keuze eener eenheid, calorie) 244 300
" (Hypothesen over de oorzaak der) . . 182 226
" (ontstaan door drukken en stooten . 279 345
Warmte (ontstaan door wrijving) 280 346
" (stralende) 196 245
Warmte-verschijnselen (Galvanisme) 433 565
" verschijnselen (Galvanische) 408 538
" stralen (Breking der) 325 404
Warmte (Specifieke) . . . 245 301
" v. glas (Specifieke) "
" " phosphorus "
" " koper "
" " zwavel "
" " diamant "
" " kwik "
" " tin "
" " platina " 246 303
" " antimonium "
" " ijzer "
" " goud "
" " zilver "
" " lood "
" " zink "
" " bismuth "
Warmte-ontwikkeling door electriciteit . . . .
" stof 182 227
" straal 196 245
" gevende eigenschappen van het spectrum 329 412
" leer 183 227
" " (Belang der) . . 184 229
Was (Temperatuur van smelting van) 219 272
Water (Strooming van het) . 92 101
" (Soortelijk gewicht van zuiver) 100 111
" (Maximum van dichtheid van het) . . . 215 267
" (Ontleding van het) . 435 567
Waterachtig vocht 360 465
Waterdamp (Maat van de veerkracht van) 235 290
Waterpas (Horizontaal) . . 41 40
" der vloeistoffen . 84 92
" (Waar en schijnbaar) 85 93
Waterstof (Dichtheid der). . 218 271
Waterstroomen, bronnen, putten 92 101
Waterweegkunde. Hydrostatika 74 80

(Bewijs voor de tweede) van den val der ligchamen, door het hellend vlak	56	58	
(Bewijs voor de tweede en derde) van den val der ligchamen door het werktuig van Atwood.	57	59	
van slingeringen van den slinger	60	65	
Wettern der Electrische afstootingen . .	381	492	
" " Electrische aantrekkingen . .	381	492	

Z.

ɩ van Hippocrates . . . 11 12
ɔ (Bolrondheid der) . . . 85 93
ɔen (Invloed van de nabij-
ɔid der) 267 334
ɔwater (Soortelijk gewicht
ɩn) 102 119
ɔwind 275 343
ɩr 276 344
ɔn 283 349
(Enkelvoudig met de
beide oogen) 262 468
(Afstand van het duide-
lijk) 361 466
ver (Soortelijk gewicht van) 102 119
" (Coëfficient van lineaire
uitzetting van) . . . 211 263
" (Temperatuur van smel-
ting van) 219 272
" Specifieke warmte van) 246 302
Zonnespectrum 327 410
Zonnewarmte 277 344
Zoutweger 104 120
Zuig- en Perspomp 146 182
Zuigerklep 143 174
Zuigpomp 143 174
Zuurweger 104 120
Zuurstof (Dichtheid der) . . 218 271
Zuidewind 272 340
Zuid-oostewind 272 340
Zuid-westewind 272 340
Zwaarte 39 38
Zwaartepunt 44 42
" (Bepaling van het) 45 43
Zwavel (Temperatuur van
smelting van) 212 257
Zwavelzuur (Soortelijk gewicht
van) 102 119
Zwemblaas der Visschen . . 98 109
Zwemmen 99 110

Weder recht keeren der beelden in de donkere kamer . . 353 452
Weeghaak 24 23
Weergalm (Echo en) . . . 162 203
Weerkundige waarnemingen.
Weerlicht, donder, bliksem . 413 540
Weerstand 22 20
Weging (Methode der dubbele 52 53
Werkingen (Mechanische). . 410 536
" van den bliksem, gering aantal slachtoffers 414 541
" (Scheikundige) . . 435 567
" (van stroomen op magneten) . . . 440 577
" van magneten op stroomen en van stroomen op stroomen, solenoiden . 442 578
" (Physiologische). . 406 529
Werktuig (Nivelleer) . . . 89 97
" " met luchtbel 90 99
" (Beschrijving van het) van dubbele werking 249 310
" van enkele werking . 248 307
" (atmospherisch) . . 248 307
" (van dubbele werking) 248 308
Werktuigen 33 32
Werktuigkunde 33 32
Wet van Archimedes. Hydrostatische balans . 95 104
" van Mariotte 131 154
" van de menging van gassen (Diffusie). . . . 133 160
" van de oplosbaarheid der gassen in vloeistoffen . 134 161
" (Bewijs voor de tweede) van den val der ligchamen, door het hellend vlak 56 58
" (Bewijs voor de tweede en derde) van den val der ligchamen door het werktuig van Atwood. 57 59
" van slingeringen van den slinger 60 65
Wetten der Electrische afstootingen . . 381 492
" " Electrische aantrekkingen . . 381 492
Wetten der terugkaatsing van het licht 292 360
" van het uitstralen der warmte . . . . .
" van de terugkaatsing der warmte . . .
" van den val der ligchamen. 54 56
" der capillariteit . . 66 73
" der schommelingen .
" der dwarstrillingen .
" der straalbreking . .
" der smelting . . . 220 273
" der koking 232 283
Wind (Weste-) 272 340
Winden (Snelheid der) . . .
" (Invloed der) . . . 267 334
" (Namen der) . . . 272 340
" (Oorzaak der) . . . 273 340
" (Regelmatige, Periodieke, veranderlijke) 274 341
Windwerk 180 222
Windroer 14 16
Windgat 178 220
Windketel 145 180
Windmeters (Anemometers) . 259 324
Windroos 272 340
Winddrager 179 221
Wit van het oog 360 464
Wolken (Vorming van de) . 268 334
Wringings balans van Coulomb 381 493
Wijn (Soortelijk gewicht van) 102 119
Wijzer Barometer 126 147
" Electrometer . . . 388 504
" Telegraaf 448 589
Wijze van verwarming. . . 208 259

IJ.

IJlheid of poreusheid . . . 11 9
IJs Calorimeter 246 302
" (Methode van de smelting van) 246 302
" (Temperatuur van smelting van) 219 272
IJzel, sneeuw. 271 339
IJzer (Soortelijk gewicht van) 102 119
" (Coëfficient van lineaire uitzetting van) . . . 211 263
" (Specifieke warmte van) 246 302

Z.

Zak van Hippocrates . . . 11 12
Zee (Bolrondheid der) . . . 85 93
Zeëen (Invloed van de nabijheid der) 267 334
Zeewater (Soortelijk gewicht van) 102 119
Zeewind 275 343
Zefir 276 344
Zien 283 349
" (Enkelvoudig met de beide oogen) 262 468
" (Afstand van het duidelijk) 361 466
Zilver (Soortelijk gewicht van) 102 119
" (Coëfficient van lineaire uitzetting van) . . . 211 263
" (Temperatuur van smelting van) 219 272
" Specifieke warmte van) 246 302
Zonnespectrum 327 410
Zonnewarmte 277 344
Zoutweger 104 120
Zuig- en Perspomp 146 182
Zuigerklep 143 174
Zuigpomp 143 174
Zuurweger 104 120
Zuurstof (Dichtheid der) . . 218 271
Zuidewind 272 340
Zuid-oostewind 272 340
Zuid-westewind 272 340
Zwaarte 39 38
Zwaartepunt 44 42
" (Bepaling van het) 45 43
Zwavel (Temperatuur van smelting van) 212 257
Zwavelzuur (Soortelijk gewicht van) 102 119
Zwemblaas der Visschen . . 98 109
Zwemmen 99 110

ALPHABETISCH REGISTER

VAN DE

PERSOONS-NAMEN,

die in dit werk voorkomen.

Met de cijfers worden de bladzijden aangewezen waar de namen vermeld zijn.

A.

Aeolus. 340
Aepinus 520
Aldini (Jean) 564
Alembert (d') 424, 465
Amasis 355
Amici 439
Ampère 7, 576, 584, 587
Appert. 167, 168
Arago . . 157, 291, 545, 550, 584
Arrezzo (Guido van) 198
Archimedes. 34, 104, 106, 107, 113, 184, 185, 251
Atwood 57, 59

B.

Baco (Roger) 438, 440
Barlow 420
Baumé 120, 121
Becquerel. 540, 555, 583
Berthollet. 160
Bevis 525
Beek (van) 202
Bennet. 508
Biot 207, 467
Birkbeck 446
Blair 420
Blanchard 191, 192, 193
Blanchard Evrard 458
Borda 53
Br 244
F 575
Buffon 251, 407, 419
Brewster 468
Bunsen 558
Bunten 142
Boulton 307

C.

de Caus (Salomon) 305
Celsius. 238
Ceres 444
Charles 187, 199
Chérubin d'Orleans 428
Chevalier (Charles) . 428, 439, 446, 453, 455
Chevreul 419
Chladni 197
Clairaut 424
Cooper. 446
Copronymus (Constantinus). . . 224
Coulomb 493, 497
Columbus (Christoffel) 342
Cowley 305
Cruikshank 556
Ctesibius 1

D.

Daguerre 4
Dalibard 5
Dalton. 5
Daniëll 5
Davy 446, 555, 5
Descartes 227, 3

espretz 565
ollond (John).. 423
onné 446
rebbel 233
rummond 446
uboscq 468
ulong. 157, 255, 291
uchenne. 601
ufoy 491
umas. 446
umourrier-Duperrier. 182

E.

lkington. 575
uler 423
tienne 186

F.

abroni 555
ahrenheit. 117, 238
araday 576
izeau 457, 598
oucault 68, 352, 432, 446
ranklin . 286, 340, 471, 500, 510, 538, 544
resnel 350, 406
roment 68, 432, 603
ortin 138, 139

G.

alvani 549, 563
alileï . . . 65, 133, 233, 427, 429
arnerin (J.). 192
ay-Lussac. 74, 122, 142, 166, 193, 269
ilbert 488
Gravesande 231
ray 495
renié 222
regory (David) 424, 432
uericke (Otto van) . . . 163, 502
uida van Arezzo. 212

H.

arting 427
all (Chester More) 424
awksbee. 166
eide (Jan v. d.) 182
enley. 504
eron 107, 305
erschell 434
Hervy (Osmin) 300
Hiero 106
Hippocrates . . . . . .
Homerus 438
Hughes 589
Humboldt (Alex. von) 609
Huygens 66, 227, 350

I.

Ingenhousz 258
Isis 444

J.

Jacobi 570, 602
Janssen (Hans en Zacharias) 426, 439
Jeffries 193
Jourdan 194

K.

Keppler 430
Kircher 209, 440, 445
Klingenstierna 423

L.

Laplace 263, 302
Lavoisier 227, 263, 302
Leeuwenhoek (Anthony van) . . 439
Lerebours. 431
Leroy 265
Leslie . 242, 252, 253, 254, 255, 294
Lippershey (Joh.) 426, 439

M.

Magnus 608
Mandsley 313
Mariotte 154, 159, 318
Mercier 187
Metius (Jac. Adr. zoon). . . . 427
Metella 204
Milete (Thales van) . . . 355, 488
Moigno 468
Moll 202
Molteni 430
Monge 388
Montgolfier (Etienne en Joseph . 186
Moreau 194
Morse 589, 597
Müller 465
Musschenbroek 230, 594

N.

Newton 37, 220, 246, 350, 382, 410, 414, 415, 423. 432, 434
Nicholson 113
Niepce (de St. Victor) 455
Niepce 458
Newcomen 305, 306
Nollet 525, 531

O.

Oersted 80, 576, 587

P.

Papin 288. 305, 306
Pascal 81, 85, 88, 90, 135
Petit 255
Pepijn 224
Plinius. 438, 488, 548
Porta 448
Ptolomaeus 405
Plateau 420
Pythagoras 216
Pilâtre (de Rozier) 192
Prometheus 228

Q.

Quintenz 53

R.

Réaumur 238, 241, 524
Regnault 291, 446
Rheita 428
Rive (de la) 555, 575
Robert (Gebroeders) . . . 187, 192
Robin 461
Römer 356
Ross (Lord) 435
Ruhmkorff 611
Rumford . . . 242, 259, 435, 358
Ruolz 575
Rutherford 332

S.

Saussure 200, 326
Savard 211
Secretan 431
Schweigger 581
Snellius 381
Spence. 511
Spencer 570
Steinheil 587
Strabo 438
Swinden (van) 427
Symner 492

T.

Talbot. 456, 458
Teyler 532, 535. 537
Thilorier 299
Toorn (v. d.) 122
Torricelli . . . 133, 135, 136, 168

V.

Volkmann 465
Volta 507, 519, 528, 546, 551, 552, 554

W.

Walker. 598
Watt 306
Wedgewood 244
Wells 338
Wey (Francis) 455
Wheatstone 468, 598
Wollaston. 555, 557

Z.

Zahn 445
Zapaglia 76

EERSTE BOEK.

ALGEMEENE EIGENSCHAPPEN EN ALOM VERSPREIDE AANTREKKINGSKRACHT.

HOOFDSTUK I.

INLEIDING.

1. **Onderwerp der Natuurkunde.** Onder Natuurkunde (*Physica*, afgeleid van een grieksch woord, dat *natuur* beteekent), verstonden de ouden de studie der geheele natuur. Het gebied dezer wetenschap omvatte: de *Mechanica* (werktuigkunde), de *Astronomie* (sterrekunde), de *Chemie* (scheikunde), de *Botanie* (plantenkunde), de *Zoölogie* (dierkunde), ook de *Ars medica* (geneeskunde), zelfs de *Astrologie* (sterrewigchelarij) en de *Divinatie* (waarzegging) zoowel uit de sterren als uit de waarneming der gelaatstrekken.

Tegenwoordig is de natuurkunde vrij wat meer begrensd. Ja, al de wetenschappen en kunsten, die wij daar opnoemden, voorbijgaande, behandelt zij hoofdzakelijk *de verschijnselen, die zich voordoen in de aardsche onbewerktuigde ligchamen, zonder dat hunne samenstelling gewijzigd wordt.*

Wij zeggen *aardsche* ligchamen, omdat de verschijnselen, welke de hemelligchamen aanbieden, tot het gebied der sterrekunde behooren; en *onbewerktuigde* ligchamen, omdat de meeste verschijnselen, die men waarneemt bij de *bewerktuigde*, als planten en dieren, behooren bij de plantenkunde en de dierkunde (*). Eindelijk de beperking, dat de natuurkunde alleen behandelt verschijnselen, die geene wijziging in de samenstelling der ligchamen medebrengen; zij is noodig, want er is eene andere wetenschap, de scheikunde, die zich ook bezig

(*) Evenwel in de *bewerktuigde* natuur komen verschillende verschijnselen voor, die zuiver *physisch* zijn, bijv. de voortstuwing van het bloed door de samentrekking van het hart; de zenuwstroomen; het vormen van een lichtbeeld op het netvlies van het oog; de osmotische verschijnselen bij de voeding der planten, enz. enz.

houdt met de verschijnselen, welke de aardsche ligchamen ons aanbieden, maar alleen dan, wanneer de samenstelling van deze ligchamen gewijzigd is, door de scheiding van hunne grondstoffen of door de bijvoeging van nieuwe grondstoffen.

Bij voorbeeld, wanneer door afkoeling water overgaat in den toestand van ijs, en door verwarming vervolgens dit ijs weer overgaat in water, dan vindt men dezelfde vloeistof van vroeger terug; niet alleen zijn al hare eigenschappen dezelfde, maar ook de stof, die haar samenstelt, is in alle opzichten gelijk aan de vroegere. De overgang van water tot den toestand van ijs en de terugkeer van dit tot den vloeibaren staat zijn dus natuurkundige verschijnselen. Zoo breekt ook, wanneer het valt, een broos voorwerp, een porceleinen vaas, maar elke scherf behoudt geheel dezelfde samenstelling. De val en het breken der vaas zijn dus ook natuurkundige verschijnselen.

Maar integendeel, wanneer hout verbrandt, dan wordt zijne samenstelling geheel gewijzigd. Het hout, dat uit verschillende grondstoffen is samengesteld, wordt ontleed; een gedeelte van zijne grondstoffen ontwijkt in den dampkring onder den vorm van rook, terwijl een ander gedeelte terugblijft als asch en kool. In één woord, de stof die het hout samenstelde, is verdwenen en vervangen door andere stoffen, geheel verschillend van aard. De verbranding van hout is dus een scheikundig verschijnsel.

2. **Stof, ligchaam, massa, dichtheid.** Men noemt *stof* al datgeen, wat een of meer van onze zinnen kan aandoen, dat is te zeggen, al datgeen van welks bestaan wij kennis kunnen krijgen door het gezicht, het gehoor, het gevoel, den smaak, of den reuk. Elk stoffelijk voorwerp is een *ligchaam;* een steen, een boom, een meubel, het water, de lucht, zijn ligchamen.

De *massa* van een ligchaam is de hoeveelheid stof in dit ligchaam bevat. Bij gelijk volume bevatten de verschillende voorwerpen in het algemeen geheel verschillende hoeveelheden stof. Bij voorbeeld, straks zal aangetoond worden dat, onder gelijk volume, het lood ruim elfmaal meer stof bevat dan het water, en het goud negentienmaal meer. Om uit te drukken dat een ligchaam, bij gelijk volume, meer massa heeft dan een ander, zegt men dat het *dichter* is, waaruit volgt, dat de *dichtheid* van een ligchaam met betrekking tot een ander, een

getal is, dat uitdrukt hoeveel maal meer stof het eerste ligchaam bevat in vergelijking met het tweede.

3. **Enkelvoudige en samengestelde ligchamen.** Als wij de zoo talrijke en zoo verschillende ligchamen, welke ons de natuur aanbiedt, beschouwen, is het wel van belang na te gaan of ieder van hen uit eene eigene zelfstandigheid gevormd is, dan wel of een klein getal grondstoffen zich bij elkander schikkende, water, lucht, rotsen, planten, dieren, in één woord, al die ligchamen, die zich aan ons voordoen, kunnen doen ontstaan. De wijsgeeren der oudheid namen in de natuur slechts vier grondstoffen aan: de aarde, het water, de lucht en het vuur. Eerst in de latere tijden, sedert ongeveer eene eeuw, zijn de scheikundigen en natuurkundigen er in geslaagd, om meest alle ligchamen, die uit meerdere grondstoffen gevormd zijn, te ontleden en weder samen te stellen. Zij vonden daarin vijf-en-zestig ligchamen, welke men aanduidt door den naam van *enkelvoudige ligchamen* (*elementen*), om uit te drukken dat zij niet meer bevatten dan eene enkele soort van stof. Zoodanige zijn al de *metalen*, de *zuurstof*, de *waterstof*, de *stikstof*, de *zwavel*, de *kool*, de *phosphorus*, het *chloor* enz. Al de andere ligchamen der natuur zijn *samengestelde*, dat is te zeggen, gevormd door de verbinding van twee, van drie, of op zijn hoogst van vijf of zes enkelvoudige ligchamen: want elk samengesteld ligchaam bevat altijd slechts een klein getal enkelvoudige ligchamen. Bij voorbeeld, het water is samengesteld uit twee enkelvoudige ligchamen, de zuurstof en de waterstof; het hout uit drie, de koolstof, de zuurstof en de waterstof; het vleesch der dieren uit vijf, de koolstof, de zuurstof, de waterstof, de stikstof en de zwavel. Aluin bevat vijf elementen, eiwit ook vijf, of, als men phosphorus medetelt, zes. Sommige silicaten bevatten meer dan zes elementen.

4. **Innerlijke samenstelling der ligchamen, atomen, moleculen, moleculaire krachten.** Talrijke eigenschappen der ligchamen doen zien, dat zij niet gevormd zijn uit eene geheel aaneensluitende en saamgepakte stof, zooals het oppervlakkig schijnt; maar dat zij samenhoopingen zijn van uiterst kleine stoffelijke deeltjes, welke men *atomen* noemt. Deze, zich rangschikkende, vormen stoffelijke deeltjes, toch nog uiterst klein, welke men *moleculen* noemt. Eindelijk, door de ver-

eeniging van deze *moleculen*, ontstaan de verschillende ligchamen, die in de natuur voorkomen. Door hunne kleine afmetingen zijn de atomen en moleculen geheel onzichtbaar en ontastbaar. De fijnste stofdeeltjes, die men in de atmospheer ziet zweven, zijn op verre na niet eenvoudige moleculen, want zij bevatten daarvan een aanzienlijk aantal.

Dezelfde eigenschappen, die de natuurkundigen geleid hebben tot het aannemem van *atomen* en *moleculen*, hebben hen doen zien, dat deze kleine deeltjes der ligchamen elkander niet aanraken, maar eenvoudig naast elkander geplaatst zijn, terwijl zij uiterst kleine ruimten tusschen elkander openlaten, welke wij nader zullen leeren kennen onder den naam van *poriën* (zie 11).

Maar, zal men zeggen, hoe komt het dan dat de ligchamen niet van zelf tot stof vallen? Wat is het dat hun vastheid en hardheid geeft? In één woord, welke is de onzichtbare band, die de atomen en moleculen samenhoudt? Deze band is eene wederkeerige aantrekking, welke de deelen, die het ligchaam samenstellen, op elkander uitoefenen, en ten gevolge van welke zij altijd trachten tot elkander te naderen, evenals de magneet het ijzer aantrekt.

Deze aantrekkende kracht, welke men *moleculaire aantrekking* noemt, is niet de eenige kracht, die op de kleine deeltjes, waaruit de ligchamen zijn samengesteld, werkt; want in dit geval zouden zij onmiddellijk in aanraking met elkander zijn, hetwelk nooit plaats vindt. Zij gehoorzamen ook aan eene kracht van *afstooting*, door welke zij zonder ophouden trachten zich van elkander te verwijderen, en waarvan de oorzaak de *warmte* is. Bij proefneming ziet men, dat, telkens wanneer men een ligchaam verwarmt, zijn omvang toeneemt, waaruit blijkt, dat zijne *moleculen* zich van elkander verwijderen; en dat integendeel, wanneer men het afkoelt, zijn omvang vermindert, wat aantoont, dat de moleculen nu tot elkander naderen.

Dit nu alles samenvattende kan men zeggen, dat al de ligchamen zijn samengesteld uit uiterst kleine deeltjes, die elkander niet raken, maar op oneindig kleine afstanden van elkander gehouden worden, door de samengestelde werking van twee tegengestelde krachten: de eene aantrekkende, de *andere afstootende*. Uit deze twee krachten, aantrekking en

afstooting, nu eens overwinnend, dan eens overwonnen, ontstaan de drie verschillende toestanden der ligchamen, welke wij gaan beschouwen.

5. **Verschillende toestanden der ligchamen.** Wanneer men de verschillende ligchamen, die zich in de natuur voordoen, onderling vergelijkt, dan bieden zij een verschillend karakter aan, dat hen in drie wèl onderscheidene soorten doet verdeelen: de *vaste*, de *vloeibare* en de *gasvormige*.

1°. Men noemt *vaste* al die ligchamen, die eene meerdere of mindere hardheid bezitten en uit zich zelf den vorm bewaren, die hun van nature eigen, of door de kunst gegeven is. Zoodanige zijn: hout, steen, de metalen, ten minste in den gewonen toestand van temperatuur. In deze ligchamen is de moleculaire aantrekking over het algemeen zeer groot. Dit is de oorzaak van den weerstand, welken men ondervindt, als men deze ligchamen in meer deelen wil scheiden of hunnen vorm wijzigen.

2°. De *vloeibare* zijn ligchamen, die geene hardheid toonen, en die ook geene eigen gedaante bezitten, maar oogenblikkelijk die aannemen van de vaten, waarin men ze giet. Zoodanige zijn water, wijn, melk. In de vloeistoffen is de moleculaire aantrekking blijkbaar in evenwicht met de afstootende kracht der warmte; dit blijkt uit de gemakkelijkheid, waarmede hare moleculen over elkander kunnen schuiven, en uit den geringen weerstand, welken men ontmoet, wanneer men er een voorwerp indompelt.

3°. De *gasvormige*, welke men ook den naam geeft van luchtvormige vloeistoffen, wegens hunne overeenkomst met de lucht, zijn uiterst fijne en ligte ligchamen. Zoodanige zijn: de zuurstof, de waterstof, de stikstof, het koolzuur, het chloor. De lucht, waarin wij leven, is een mengsel van zuurstof en stikstof. Uitgezonderd een klein getal, dat gekleurd is, zijn de gassen onzichtbaar. Dit maakt dan ook dat een glas vol lucht ons toeschijnt niets te bevatten. Hetzelfde heeft plaats wanneer het gevuld is met waterstof, koolzuur, of ieder ander kleurloos gas. In de gassen behoudt de afstootende kracht, welke de warmte tusschen de moleculen uitoefent, de overhand op de moleculaire aantrekking (zie 4); hierdoor komt het, dat deze ligchamen steeds in omvang trachten toe te nemen. Deze eigenschap zullen wij spoedig

leeren kennen onder den naam van *veerkracht*, *spanning*, en *uitzetbaarheid* der gassen.

Een groot aantal ligchamen kan achtereenvolgens de drie toestanden doorloopen, die wij zoo even beschouwden. Bij voorbeeld: het water is vast bij groote koude; bij den gewonen warmtegraad is het vloeibaar; sterker verwarmd zet het zich om in eene luchtvormige stof, welke men stoom noemt en die geheel gelijkvormig is met gassen. De zwavel en het grootste gedeelte der metalen leveren dezelfde verschijnselen op.

6. **Verschijnselen, hunne oorzaken, onweegbare vloeistoffen.** In de gewone taal verstaat men door verschijnsel iets buitengewoons; in de natuurkunde is elk uitwerksel, zelfs het meest eenvoudige, een *verschijnsel:* een ligchaam dat valt, water dat kookt, een klok die klinkt, ons beeld dat in een spiegel gevormd wordt, een kaars die ons verlicht, zijn even zoo vele verschijnselen.

Hoe verschillend ook de verschijnselen mogen zijn, die zich in de natuur aan onze waarneming voordoen, men kan ze allen tot een klein getal oorzaken of natuurkrachten terugbrengen, welke zijn: de *moleculaire krachten*, de *zwaarte*, de *warmte*, het *licht*, het *magnetisme* en de *electriciteit*. In de behandeling der natuurkunde komen dan ook even zoo vele onderscheidene gedeelten voor, waarop wij onze aandacht vestigen moeten.

Voor het oogenblik zij het genoeg te zeggen, dat men, om de verschijnselen te verklaren, die afhangen van de warmte, van het licht, van het magnetisme en van de electriciteit, als oorzaak daarvan vloeistoffen heeft aangenomen, oneindig fijner dan gassen, geheel ontastbaar en onzichtbaar. Deze hebben den naam verkregen van *incoërcibele (onopsluitbare) vloeistoffen*, om uit te drukken dat men haar noch kan tasten, noch haar kan samendrukken in een gesloten vat, zooals men luchtvormige vloeistoffen kan doen. Men noemt ze ook *onweegbare* vloeistoffen, om aan te duiden, dat deze fijne stoffen geen gewicht hebben. Haar gewicht ten minste, zoo zij er al een hebben, is niet merkbaar met de gevoeligste balansen. Bij voorbeeld, een stuk zilver weegt niet meer, wanneer het sterk verhit is, dan wanneer het koud is.

Om de verschijnselen te verklaren heeft men eerst eene bijzondere vloeistof voor de warmte, eene voor het licht,

eene andere voor de electriciteit en het magnetisme aangenomen.

Later hebben de proeven van den beroemden franschen natuurkundige Ampère (gestorven 1837) doen zien, dat het magnetisme en de electriciteit tot ééne oorzaak kunnen teruggebracht worden, en men heeft dus voor deze beiden slechts ééne vloeistof aangenomen. Eindelijk daar de proef toont, dat dikwijls deze verschillende vloeistoffen zich schijnen te verwarren, nemen alle natuurkundigen thans slechts ééne algemeen verspreide vloeistof aan, tot welke niet alleen de electriciteit en het magnetisme, maar ook de warmte en het licht teruggebracht moeten worden. Deze vloeistof noemt men aether.

7. **Onderdeelen der natuurkunde.** Naar hetgeen wij hiervoor gezegd hebben, omvat de natuurkunde vijf groote afdeelingen: 1°. de *algemeene eigenschappen* der vaste, vloeibare en gasvormige ligchamen; 2°. het *geluid;* 3°. de *warmte;* 4°. het *licht;* 5°. het *magnetisme* en de *electriciteit.*

HOOFDSTUK II.

ALGEMEENE EIGENSCHAPPEN DER LIGCHAMEN.

8. **Uitgebreidheid.** Men verstaat door *algemeene eigenschappen* die, welke gemeen zijn aan alle ligchamen, vaste, vloeibare, of gasvormige. Zoodanige zijn de *uitgebreidheid*, de *ondoordringbaarheid*, de *deelbaarheid*, de *poreusheid*, de *samendrukbaarheid*, de *veerkracht*, de *traagheid* en de *zwaarte.* Maar dit zijn niet de eenige algemeene eigenschappen; wij zullen aantoonen dat er nog meer bestaan, waarover wij deels bij de warmte, deels bij de electriciteit zullen handelen.

De algemeene eigenschap, welke ons bij de ligchamen het eerst in het oog valt, is hunne *uitgebreidheid*, dat is te zeggen, het gedeelte der ruimte dat zij innemen. Al de ligchamen, zelfs de kleinste, ja zelfs de atomen, hebben eene uitgebreidheid. Als men de uitgebreidheid slechts in ééne richting beschouwt, de lengte, heeft men de *lijn;* zoo men haar in twee richtingen beschouwt, lengte en breedte, heeft men het *vlak;* eindelijk genomen in drie richtingen, lengte, breedte en dikte,

vormt zij het *volume*, ligchaam. Wij moeten hierbij opmerken, dat de uitgebreidheid niet alleen eene algemeene eigenschap is, maar daarenboven eene *essentiële*, eene van het wezen der ligchamen onafscheidbare eigenschap; want het is duidelijk, dat een ligchaam niet kan bestaan zonder eene zekere gedaante en bij gevolg zonder een meer of min groot gedeelte der ruimte in te nemen.

9. **Ondoordringbaarheid.** De *ondoordringbaarheid* is eene eigenschap, ten gevolge van welke twee ligchamen zich niet te gelijker tijd op dezelfde plaats in de ruimte kunnen bevinden.

Deze eigenschap, uit haren aard klaarblijkelijk, moet, evenals de uitgebreidheid, als eene essentiële aangezien worden. Evenwel neemt men dikwijls verschijnselen waar, waarin het schijnt dat het eene lichaam het andere doordringt. Bij voorbeeld: als men eene kan water met een kan alcohol vermengt, vindt men, dat het volume van het mengsel minder is dan twee kannen. Eene soortgelijke samentrekking doet zich voor bij sommige metaalmengsels, bij voorbeeld bij dat van zink en koper, bekend onder den naam van geel koper. Men zou kunnen denken, dat er in deze verschillende verschijnselen eene doordringing der deelen was; maar er is slechts eene nieuwe aaneenschakeling ontstaan, eene verandering van plaatsing der moleculen, en bijgevolg eene nadering van deze onderling en eene vermindering van ruimte, ingenomen door poriën.

Evenmin is er doordringing, wanneer men een spijker in hout drijft. De moleculen van dit laatste zijn op zijde gedrongen door den spijker, maar daar, waar hij is doorgedrongen, is geen hout meer. Wanneer men water giet op een hoop zand, ziet men het dadelijk verdwijnen; nu is het niet het zand zelf, waarin de vloeistof doordringt, maar het zijn de tusschenruimten, die tusschen de zandkorrels aanwezig zijn.

10. **Deelbaarheid.** De *deelbaarheid* is die eigenschap, welke al de ligchamen hebben van te kunnen verdeeld worden in meer of minder kleine deelen. Deze eigenschap is merkwaardig door de uiterste kleinheid der deeltjes, waarin de ligchamen verdeeld kunnen worden, zooals talrijke voorbeelden dit bewijzen. Wij halen de volgende aan:

De roode kleurstof, bekend onder den naam van *karmijn*,

heeft een zoo sterk kleurend vermogen, dat vijf centigrammen (een halve korrel) van deze stof, hebbende nagenoeg het gewicht en den omvang van een graankorrel, voldoende zijn, om op eene merkbare wijze tien kannen water te kleuren. Nu houdt een kan een millioen kubiek strepen, indien men aanneemt, dat iedere kubiek streep water tien moléculen karmijn bevat, hetgeen nog ver beneden de waarheid is, dan geeft dit tien millioen zichtbare deelen in vijf centigrammen karmijn.

Men heeft nog een voorbeeld van de groote deelbaarheid der stof in de *microscopische diertjes*, welke men aldus noemt, omdat zij zoo klein zijn, datzij geheel aan het ongewapend oog ontsnappen en slechts zichtbaar zijn met behulp van vergrootende werktuigen, welke men microscopen noemt. Men ontmoet deze kleine diertjes in de stijfsel, wanneer zij gegist heeft, in stilstaande wateren, in azijn, in de korst van drooge kaas enz.; sommigen zijn zoo klein, dat vele honderden op de punt van een speld plaats zouden kunnen vinden. En toch, dezə diertjes bewegen en voeden zich; zij hebben dus organen en, bijgevolg, hoe klein moeten de deeltjes wel zijn, waar deze uit zijn samengesteld!

Als voorbeeld der deelbaarheid kan men ook de moleculen noemen, die door de reukstoffen in de atmospheer worden verspreid. Bij voorbeeld, men heeft uitgemaakt, dat een stuk muskus, dat gedurende twintig jaar in de vrije lucht reuk verspreid had, niet merkbaar van zijn gewicht had verloren. Zoo heeft men ook scheikundig de besmette lucht onderzocht, opgevangen bij riolen, en ook die uit de vrije ruimte op kaden en bruggen, en men heeft geen verschil van samenstelling kunnen aantoonen.

11. **Poreusheid** of **ijlheid.** Men noemt poriën de uiterst kleine tusschenruimten, welke wij hebben gezien dat bestaan tusschen de moleculen der ligchamen (zie 4), en *poreusheid* de eigenschap van alle ligchamen, dat zij poriën hebben.

De poriën kan men gemakkelijk onderscheiden in eene spons, in veel soorten van steenen, in zacht hout; maar in vele ligchamen zijn zij niet zichtbaar, en de proef toont toch aan, dat zij aanwezig zijn.

Door de volgende proef worden zij gewoonlijk aangetoond: (zie fig. 1).

Men neemt eene lange glazen buis, waar een koperen bakje, met een bodem van dik leder bovenop staat. Onderaan heeft deze buis een koperen voet, welke geschroefd kan worden op een werktuig, dat wij later zullen beschrijven onder den naam van *luchtpomp*, waarvan wij ons bedienen om het ijdel te maken, dat is te zeggen, om uit de vaten de lucht te pompen, die zij bevatten. Men giet in het bakje kwikzilver, een bij de gewone temperatuur vloeibaar metaal, als gesmolten lood. Verder verdunt men, door middel van de luchtpomp, de lucht in de buis; dadelijk dwingt het gewicht der atmospheer, die van buiten op het kwik drukt, dit, om in een fijnen regen door den lederen bodem te trekken. Dit toont aan, dat in dezen bodem zich gaatjes bevinden, die doorgang aan het kwik verleenen.

Fig. 1. Poreusheid.

In 1661 hebben de leden van de Academie del Cimento, te Florence, de poreusheid der metalen op de volgende wijze aangetoond. Zich willende overtuigen of het water, ten gevolge van groote drukking, in omvang kon verminderen, namen zij een kleinen hollen bol van goud; zij vulden dezen met water en, na te voren door soldeering de opening hermetisch te hebben gesloten, sloegen zij er met hamers op, om te zien of het hun mogelijk ware zijn volume te verkleinen. Bij elken slag zweette het water door de wanden heen en verscheen aan de buitenzijde als een neerslag van dauw, hetgeen de poreusheid van het goud aantoonde. Later hebben

vele natuurkundigen met andere metalen de proef genomen en hebben dezelfde uitkomst verkregen.

De natuurkundigen van Florence besloten uit deze proef, dat vloeistoffen onsamendrukbaar zijn, dat is te zeggen, door drukking niet tot kleiner volume kunnen gebracht worden. Dit besluit echter was niet nauwkeurig, want men heeft later uitgemaakt, dat het volume der vloeistoffen wel door drukking vermindert, maar in geringe mate; door afkoeling veel aanzienlijker.

Uit deze twee zaken besluit men, dat de moleculen der vloeistoffen in staat zijn tot elkander te naderen en dat dus daartusschen poriën bestaan De snelheid, waarmede de meeste vloeistoffen zich met elkander vermengen, is mede een bewijs voor hare poreusheid.

Wat de poreusheid der lucht en der andere gassen aangaat, deze wordt bewezen door de groote vermindering in volume, welke zij door drukking ondergaan, en door de merkwaardige eigenschap, dat wanneer men een gas brengt in eene ruimte, die reeds een ander gas bevat, het eerste, door zijn uitzettingsvermogen (expansief-kracht), zich dadelijk verspreidt in de gegeven ruimte, even alsof zich daar niet reeds een ander gas bevond; waaruit duidelijk blijkt, dat de moleculen van het laatste gas hare plaats vinden in de poriën van het eerste. Door de proef toont men dus aan, dat de poreusheid gemeen is aan vaste stoffen, vloeistoffen en gassen.

12. **Toepassing der poreusheid, doorzijging.** De poreusheid heeft talrijke toepassingen, voornamelijk die, welke men gemaakt heeft bij de doorzijging (*filtratie*). Hierdoor verstaat men eene bewerking, die tot doel heeft vloeistoffen te klaren, helder te maken, door er de stofdeeltjes van af te zonderen, die met haar vermengd zijn, zooals dat bij voorbeeld plaats grijpt bij rivierwater, wanneer dit door een plotseling opgekomen vloed troebel is geworden, door de aardachtige zelfstandigheden, welke het medevoert.

De filtratie wordt bewerkstelligd door stoffen, waarvan de poriën groot genoeg zijn om de moleculen der vloeistoffen door te laten, maar te klein om doorgang te verleenen aan de vaste stoffen, welke er in zweven. De toestellen, die hiervoor dienen, noemt men *filters:* men maakt ze van ongelijmd papier, vilt, poreuse steenen, gestampte kool, enz.

Fig. 2 toont ons een filter, dat veel in huiselijk gebruik is. Het is een houten kist, ongeveer een el hoog, van binnen

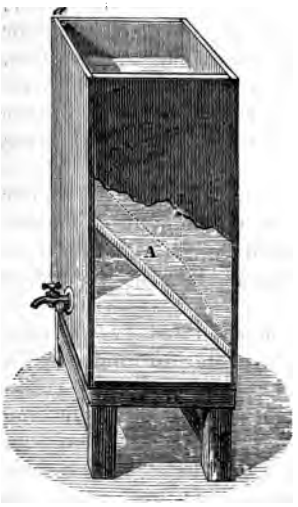


Fig. 2. Waterfilter.

Fig. 3. Zak van Hippocrates.

in 2 deelen gescheiden door een poreusen steen A, welke in de teekening zichtbaar is, doordien men een gedeelte van een der wanden heeft weggelaten. Het water wordt eerst in het bovenste gedeelte gegoten, van hier komt het langzaam door de poriën van den steen in het tweede. Daar nu deze poriën geene stoffen, die in het vocht zweven, doorlaten, is het water, dat men onder uit den filter opvangt, volkomen helder. In een der hoeken van de kist is eene buis *a*, die uitkomt in de onderste afdeeling en de lucht toelaat te ontsnappen, naarmate er water in deze afdeeling dringt.

In fig. 3 is een filter voorgesteld, dat men in de apotheken kent onder den naam van *zak van Hippocrates*, naar den beroemden geneesheer der oudheid zoo genoemd: het is een nagenoeg kegelvormige vilten zak, welke men aan drie koordjes ophangt. Het vocht, dat men hierin gegoten heeft om te filtreeren, loopt langzaam door de poriën van het weefsel, terwijl al de vaste deelen, die in het vocht zweefden

en het troebel maakten, op het vilt terug blijven. Deze wijze van filtreeren is zeer goed tot het klaren van siropen en likeuren.

Men gebruikt ook lagen van tot poeder gebrachte kool als filters. Ook eene laag zand of gestampten steen bezigt men tot hetzelfde doel. De helderheid der bronwateren moet men toeschrijven aan hunne natuurlijke filtratie door den grond heen.

Dat glimmende kolen met asch bedekt langzaam branden, is een gevolg der poreusheid: de lucht, die door de poriën der asch dringt, onderhoudt de verbranding. Indien de kolen met een voor de lucht ondoordringbare laag bedekt waren, zouden zij uitdooven, want het is de lucht, die door de zuurstof welke zij bevat, de verbranding onderhoudt.

De poreusheid eindelijk is de oorzaak, dat vele ligchamen, als hout, touw, papier, steenen, door de vochtigheid der lucht doortrokken worden; hierdoor ontstaat bij hout eene opzwelling, welke de oorzaak is van het kraken dat onze meubelen en houtwerk dikwijls in onze vertrekken doen hooren. Wij komen later op deze verschijnselen terug, als wij spreken over de *imbibitie* (inzuiging) (zie 61).

Fig. 4. Samendrukbaarheid der gassen.

13. **Samendrukbaarheid.** De *samendrukbaarheid* is die eigenschap van de ligchamen, dat zij, zonder iets van hunne massa te verliezen, in volume kunnen verminderen, door eenen meer of min sterken druk. Deze eigenschap,

welke ontstaat door de nadering der moleculen, is te gelijk gevolg en bewijs der poreusheid.

De samendrukbaarheid is zeer merkbaar bij sponsen, caoutchouc, kurk, vlierpit, papier en stoffen als katoen, linnen, wol enz.; want het is voldoende deze lichamen tusschen de vingers samen te drukken, om er het volume merkelijk van te verminderen.

De samendrukbaarheid der metalen kan men aantoonen door den stempel, dien medailles en munten ontvangen, onder de drukking van krachtige werktuigen, welke men muntpersen (balanciers) noemt.

Wat vloeistoffen aangaat, wij hebben reeds gezien dat hare samendrukbaarheid zeer gering is, zoo gering zelfs, dat men ze langen tijd heeft aangezien als geheel onsamendrukbaar (zie 10): evenwel zal later blijken, dat men hare samendrukbaarheid door de proef kan aantoonen (zie 67).

Het meest samendrukbaar van alle ligchamen zijn de gassen, die door voldoende drukking kunnen gebracht worden op $^1/_{10}$, $^1/_{20}$, ja zelfs $^1/_{100}$ van hun oorspronkelijk volume. Om aan te toonen met welk gemak men het volume der gassen kan doen verminderen, neemt men eene glazen buis, die aan één eind gesloten is, en men brengt er aan de andere zijde een zuiger in, die haar volkomen luchtdigt afsluit. (Zie fig. 4).

De lucht, die zich alzoo in de buis opgesloten bevindt, kan niet ontsnappen, en toch ziet men, met de vuist op den zuiger drukkende, dezen tot de helft, twee derde, ja tot drie vierde van de buis indringen, hetgeen bewijst, dat het volume lucht langzamerhand teruggebragt is tot $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, van zijn vorig vulume. Daarenboven bieden de meeste gassen, wanneer men ze zoo samendrukt, eene merkwaardige eigenschap aan, waarop wij later zullen terugkomen, namelijk dat zij drupvormig vloeibaar worden.

14. **Veerkracht.** De *veerkracht* is de eigenschap, welke de ligchamen vertoonen, van, wanneer men ze heeft samengedrukt, gebogen, gewrongen of uitgerekt, van zelve hunnen oorspronkelijken vorm en volume terug te nemen, zoodra zij wederom vrij worden. Zoo heeft men vier soorten van veerkracht: de veerkracht door drukking, als die der
de veerkracht door buiging, welke men waarneemt
eren; de veerkracht door wringing, die voortgebracht

wordt in draden van hennip, van katoen, wanneer zij zich ontwinden, en eindelijk de veerkracht door spanning, welke plaats grijpt bij piano-, guitar-, vioolsnaren, wanneer zij gespannen zijn.

De veerkracht, van welke soort zij ook zijn moge, is het gevolg van eene moleculaire verplaatsing: indien de moleculen door drukking nader tot elkander zijn gebragt, tracht de afstootende kracht der warmte ze te verwijderen, (zie 4), indien zij integendeel verwijderd zijn, tracht de moleculaire aantrekking ze te doen naderen. Wanneer men bij voorbeeld eene balein buigt en de moleculen zich dus in het holle gedeelte samengedrukt bevinden, dan bestaat er afstooting tusschen deze; in het bolle gedeelte integendeel, waar zij van elkander verwijderd zijn, pogen zij tot elkander te naderen, en het is ten gevolge van deze twee werkingen, dat de balein dadelijk recht wordt, zoodra men haar vrijlaat.

De meest veerkrachtige ligchamen zijn de gassen; op deze volgen gehard staal, balein, caoutchouc, paardenhaar, wol, ivoor, glas, marmer, enz. Om de veerkracht van deze laatste ligchamen, bij voorbeeld het ivoor, aan te toonen en te gelijkertijd de moleculaire verplaatsing, die er de oorzaak van is, neemt men de volgende proef: op eene plaat van gepolijst marmer, bedekt met eene dunne laag olie, laat men een ivoren bal vallen, eerst van eene kleine hoogte, dan van hoogten, die achtereenvolgens grooter en grooter worden. Iedere keer springt de bal terug tot eene hoogte, die iets minder is dan die van zijnen val, na op de laag olie, op het punt waar hij geraakt heeft, een cirkelvormigen indruk te hebben nagelaten, die te grooter is, naarmate hij van grooter hoogte gevallen is. (fig. 5). Men besluit hieruit, dat de bal telkens door den schok plat wordt

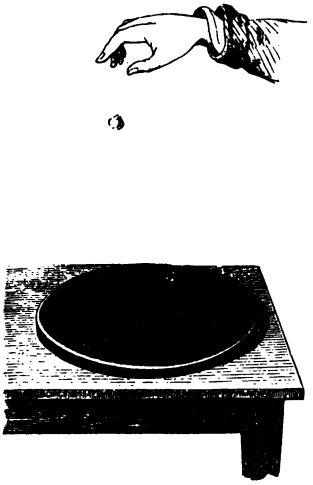


Fig. 5. Veerkracht.

en dat hij door de terugwerking der samengedrukte moleculen terugspringt.

15. **Toepassingen der veerkracht.** De veerkracht biedt ons talrijke toepassingen aan. Bij voorbeeld: het is doordat zij veerkrachtig zijn, dat kurken de flesschen luchtdicht afsluiten. Met kracht in den hals ingebracht, worden zij samengedrukt en, alsdan door hare veerkracht terugwerkende tegen de wanden, houden zij de vloeistof tegen.

Aan de veerkracht der lucht danken wij ook de terugspringende ballen, waarmede wij de jeugd zich zien vermaken. Deze ballen zijn van caoutchouc, met lucht gevuld; wanneer zij den grond of een muur raken, vermindert hun volume, de lucht, welke zij bevatten, wordt plotseling samengedrukt, tracht zich uit te zetten en, als een veer terugwerkende, doet zij den bal terugspringen.

De veerkracht der lucht wordt ook nog aangewend in de kussens, waarvan sommige reizigers zich bedienen om gemakkelijker te zitten. Vervaardigd uit eene stof, ondoordringbaar voor gassen, worden deze kussens door middel van eene caoutchouc buis met lucht opgeblazen; daar zij op deze wijze zeer samendrukbaar en veerkrachtig worden, vormen zij een zeer zacht kussen.

Onder den naam van *windroeren* ontmoet men in de natuurkundige verzamelingen geweren, waarvan de stalen staartschroef hol is. In deze staartschroef pompt men, door middel van eene *perspomp*, die later zal beschreven worden, sterk samengedrukte lucht, en het is deze samengedrukte lucht, welke door hare uitzettende kracht de kogels voortdrijft. Dit is dus ook eene toepassing van de veerkracht der lucht.

Op de veerkracht van het staal berust ook het gebruik der veeren van de rijtuigen en der veeren, die dienen om onze horloges en klokken te drijven. Eveneens is het om hunne veerkracht dat wol, paardenhaar, dons, gebruikt worden in kussens, bedden, matrassen, zittingen onzer meubelen enz.

Eindelijk is het door de veerkracht dat piano-, guitaar-, viioolsnaren, ten gevolge van drukking of wrijving, eene slingerende beweging kunnen verkrijgen, die, zoo als zulks in va. leer van het geluid zal aangetoond worden, de oorzaak is gan de toonen, welke de snaarinstrumenten geven.

bij

HOOFDSTUK III.

BEWEGING EN KRACHTEN.

16. **Rust en beweging.** Om goed te begrijpen, hetgeen ons nog overblijft te zeggen over de traagheid (volhardings-vermogen), de zwaarte, de aantrekkingskracht, de beweging der vloeistoffen en der gassen, is het noodzakelijk hier eenige punten aan te roeren, die zoowel in verband staan met de natuurkunde, als met de werktuigkunde. Wij doen dit, terwijl wij eenige zeer eenvoudige opmerkingen mededeelen aangaande beweging en krachten.

Men zegt, dat een ligchaam in *rust* is, wanneer het op dezelfde plaats blijft; dat het in *beweging* is, wanneer het van plaats verandert. Rust en beweging zijn of *volstrekt* of *betrekkelijk*.

De *volstrekte rust* zoude het volslagen gemis van beweging zijn. Nu kennen wij in het heelal geen enkel ligchaam in dien staat; want, daar de aarde en de andere planeten om zich zelve en om de zon wentelen, nemen al de deelen, die haar samenstellen, aan deze dubbele beweging deel. De zon zelve heeft eene wentelende beweging, die het begrip van volstrekte rust op dit hemelligchaam uitsluit.

De *betrekkelijke* of *schijnbare* rust is de toestand van een ligchaam, dat zijne plaats schijnt te behouden ten opzichte van de ligchamen, die het omringen, maar dat in waarheid met deze in eene algemeene beweging deelt. Een ligchaam bijv. dat op dezelfde plaats in een voortgaand vaartuig blijft, is met betrekking tot het vaartuig in rust, maar het is werkelijk in beweging ten opzichte van de oevers; dit is dus slechts eene betrekkelijke rust.

De *betrekkelijke* beweging van een ligchaam is niets anders, dan zijne schijnbare beweging, dat is die, welke men afmeet door vergelijking met andere ligchamen, die men als vast aanziet, maar die toch zelve van plaats veranderen. Dit geschiedt als iemand wandelt op een schip, dat in beweging is; zijne werkelijke verplaatsing is niet die, welke wij waarnemen, want terwijl hij gaat, neemt hij deel aan de beweging van het vaartuig en bovendien aan die der aarde: het is dus slechts eene betrekkelijke beweging. De *volstrekte beweging* van dezen persoon zoude die zijn, welke men afmat naar

een onbewegelijk punt in de ruimte; dat zoude men niet kunnen bewerkstelligen, omdat men geen enkel zoodanig punt kent. Men ziet dus dat wij in het heelal slechts betrekkelijke rust en beweging kunnen waarnemen.

17. **Verschillende soorten van beweging.** De beweging is *rechtlijnig* of *kromlijnig;* rechtlijnig, wanneer het bewegende ligchaam eene rechte lijn doorloopt, bij voorbeeld wanneer een ligchaam valt; kromlijnig, wanneer het bewegende ligchaam eene kromme lijn doorloopt, zooals de beweging is van een paard, dat in de manège loopt.

Ieder dezer bewegingen kan men nog onderscheiden in eene *eenparige* en *veranderlijke.*

18. **Eenparige beweging.** Men zegt, dat eene beweging eenparig is, wanneer het bewegende ligchaam in gelijke tijden gelijke ruimten doorloopt. Zoodanig is bijv. de beweging van het rad van een watermolen, wanneer het juist hetzelfde aantal omwentelingen in eene minuut maakt. Zoo is ook de beweging der wijzers op de plaat van een horloge eene eenparige. Eene afdeeling soldaten, die in de pas marcheeren, geeft ons ook een voorbeeld van eenparige beweging.

Bij deze soort van beweging noemt men *snelheid*, de ruimte in een seconde doorloopen; bijgevolg, zoo een man steeds eene el per seconde voortloopt, dan zegt men, dat zijne snelheid die is van eene el. In de plaats van als eenheid aan te nemen den tijd van seconde, kan men ook dien nemen van minuut of uur. Zoo, wanneer een spoortrein geregeld 40 mijlen in ieder achtereenvolgend uur aflegt, zegt men dat zijne snelheid is 40 mijl per uur.

19. **Veranderlijke beweging.** Men noemt het veranderlijke beweging, wanneer een ligchaam ongelijke ruimten in gelijke tijddeelen doorloopt. Indien de ruimten in denzelfden tijd doorloopend aangroeijen, zegt men, dat de beweging *versnellend* is. Zoodanig is de beweging van den spoortrein op het oogenblik van vertrek; indien deze ruimten afnemen, zooals plaats grijpt wanneer de treinen een station naderen, is de beweging *vertragend.*

Eindelijk, indien de in gelijke tijden doorloopen ruimten bestendig met eene zelfde grootheid aangroeijen, zegt men, dat de beweging *eenparig versnellend* is: indien zij integendeel bestendig met eene zelfde grootheid afnemen, noemt men

de beweging *eenparig vertragend.* Van den val der ligchamen sprekende, zullen wij voorbeelden van deze twee bewegingen zien.

20. **Volhardingsvermogen of traagheid der stof.** Men verstaat door *traagheid* der stof haar streven om te blijven in den staat, waarin zij zich bevindt, dat wil zeggen een streven om te blijven in rust, wanneer zij in rust is, en in beweging, wanneer zij in beweging is.

De dagelijksche waarneming toont ons inderdaad, dat nooit een ligchaam uit zich zelf overgaat uit den toestand van rust in dien van beweging. Wel is waar, wanneer lichamen vallen, schijnen zij zich zelve in beweging te stellen, doch, wanneer wij de zwaartekracht nader zullen nagaan, zullen wij zien, dat de aantrekkingskracht, welke de aarde op hen uitoefent, de oorzaak van hun vallen is.

Maar de ligchamen trachten niet alleen te volharden in den toestand van rust, maar ook in dien van beweging, wanneer zij eens daarin verkeeren. Deze laatste stelling schijnt misschien minder duidelijk dan de eerste, omdat wij gewoon zijn de beweging der ligchamen trapsgewijze langzamer te zien worden en deze eindelijk in den staat van rust terug te zien keeren, zooals het gebeurt bij den kegelbal, die over den grond geworpen wordt, of bij een ivoren bal, die over het biljartlaken rolt. Maar zoo deze ligchamen aldus langzamerhand tot den staat van rust terugkeeren, is dit niet het gevolg van eene natuurlijke voorkeur voor dezen toestand, maar het is ten gevolge der weerstanden, die zich aan hunne beweging in den weg stellen, en welke deels zijn de wrijving op den grond of op het laken, deels de massa lucht, welke zij moeten verplaatsen om voort te komen. Inderdaad, hoe zwakker deze weerstanden zijn, des te langer duurt de beweging; dit heeft bij voorbeeld plaats, wanneer men den hierboven genoemden kegelbal niet op den grond, maar 's winters op het gladde ijs van een vijver voortwerpt.

21. **Toepassingen der traagheid.** Eene menigte verschijnselen laten zich uit de traagheid verklaren. Bij voorbeeld iemand, die uit een rijtuig treedt dat in beweging is, behoudt dezelfde beweging, welke dat rijtuig had eer hij er uittrad; hieruit volgt, dat hij, op het oogenblik dat hij den grond raakt, omgeworpen wordt in de richting, welke het rijtuig volgt,

indien hij niet zorgt een voet in deze richting vooruit te zettten.

Stoot men, terwijl men loopt, met den voet tegen een voorwerp, dan valt men voorover; dit is ook een gevolg der traagheid, want de val heeft alleen daardoor plaats, dat het overige gedeelte van het lichaam de beweging tracht te behouden, welke het te voren had.

Staat een galoppeerend paard plotseling stil en is zijn berijder niet op zijn hoede, door stevig zich met zijn knieën vast te knellen, dan wordt hij ten gevolge van zijne traagheid over het hoofd van het paard heen geworpen.

Het is ook ten gevolge der traagheid, dat men de schaatsenrijders, als zij zich eens eene genoegzame vaart gegeven hebben, een ver eind op het ijs ziet voortgedragen zonder eenige nieuwe krachtinspanning te doen.

Ook nog is het de traagheid, die de ongelukken op de spoortreinen zoo vreesselijk maakt. Indien het uit het spoor loopen of een andere reden plotseling de locomotief doet stilstaan, dan zet de gansche trein, door de eenmaal verkregene snelheid, zijn loop nog voort en de waggons worden tegen elkander verbrijzeld.

De werking der kogels is ook een gevolg der traagheid. Wanneer een kanonskogel door een muur gaat, een boom in tweeën splijt, dan is dat ten gevolge van zijn streven om de snelheid te behouden, welke hem de ontbranding van het kruit heeft medegedeeld.

Zoo is het ook bij de hamers en stampers de traagheid, welke men zich ten nutte maakt. Drijft men met hamerslagen een spijker in eene plank, dan brengt deze hamer op den kop van den spijker des te meer kracht te weeg, naarmate hij meer massa heeft en hij met meerdere snelheid bewogen wordt.

Wij zouden nog talrijke voorbeelden kunnen aanvoeren; het zij genoeg te herinneren, dat ook de kinderspelen met den hoepel, den tol enz. toepassingen zijn van de traagheid.

22. **Kracht, weerstand.** Daar de ligchamen uit zich zelf werkeloos zijn, noemt men *kracht* elke oorzaak, welke in staat is om hen te doen overgaan van den toestand van rust in dien van beweging of omgekeerd, terwijl *kracht* ook eene oorzaak kan zijn *welke eene reeds bestaande beweging wijzigt.*

De aantrekking en afstooting, welke wij gezien hebben dat tusschen de moleculen der ligchamen worden uitgeoefend,

zijn krachten; de spierwerking, welke menschen en dieren ontwikkelen, om eenig werk te verrichten, is eene kracht; de elasticiteit der gassen en dampen, welke wij later zullen nagaan, is ook eene kracht.

De krachten, welk eene strekking hebben om de door andere krachten voortgebrachte beweging te vernietigen, en die dikwijls door die beweging zelve ontstaan, worden *weerstanden* genoemd. Hiertoe behooren de wrijving, de weerstand van water en van lucht tegen bewogen ligchamen, enz.

23. **Onderscheidene kenmerken der krachten.** Bij elke kracht heeft men drie dingen te onderscheiden: het aangrijpingspunt, de richting en de grootte.

Door *aangrijpingspunt* eener kracht verstaat men het punt waarop zij werkt. Bij voorbeeld, wanneer men een koord aan een ligchaam heeft vastgemaakt en aan dat koord trekt, zooals fig. 6 aantoont, dan is het aangrijpingspunt der kracht het punt A, waar het koord is vastgemaakt.

De *richting eener kracht* is de rechte lijn, welke zij het aan-

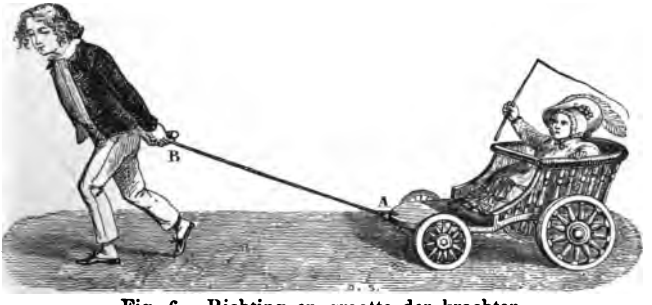


Fig. 6. Richting en grootte der krachten.

grijpingspunt doet of tracht te doen doorloopen. In de hierbij gevoegde teekening toont het koord AB de richting der kracht. Eindelijk is de *grootte* of *intensiteit der kracht* haar werkvermogen, hare waarde met betrekking tot eene andere bepaalde kracht. Bij voorbeeld in fig. 6, dat een kind voorstelt, terwijl het een klein wagentje trekt, moet door dit kind eene zekere grootte van kracht uitgeoefend worden om dit wagentje voort te trekken; maar indien dit laatste twee of driemaal zwaarder geladen was, zoude het eene twee of drie-

malen grootere kracht behoeven, om het even snel te bewegen.

24. **Maat van de krachten in kilogrammen, dynamometer.** De kracht, door welke een ligchaam getrokken of geduwd wordt, wordt gemeten door het aantal kilogrammen, dat noodig is om dezelfde drukking of trekking te voorschijn te roepen. Zoo wordt eene kracht gezegd te zijn 40, of 50 kilo-

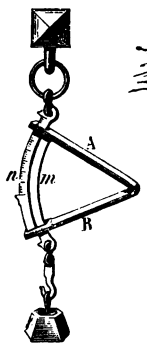


Fig. 7.

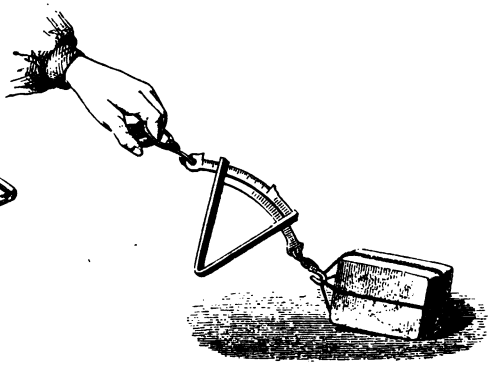


Fig. 8. Unster.

grammen, als zij kan vervangen worden door de werking van een gewicht van 40 of van 50 kilogrammen.

Het aantal kilogrammen, dat alzoo de intensiteit eener kracht voorstelt, wordt bepaald door den *dynamometer*. Hiervan zijn verschillende soorten. In fig. 7 hebben wij een zeer eenvoudigen voorgesteld. Hij bestaat uit eene gehard stalen veer AB, omgebogen in den vorm eener V. Aan het uiteinde van den arm B is een ijzeren boog *n* bevestigd, die verlengd is en vrij kan schuiven door eene opening aan het uiteinde van den arm A. Aan dezen is een gelijksoortige boog *m* bevestigd, die ook weer door het stuk B zich kan bewegen. De beide bogen *m* en *n* hebben aan het uiteinde de eerste een haak, de andere een ring; en op den boog *n* vindt men eene verdeeling, die op de volgende wijze verkregen wordt.

Heeft men het toestel aan een vast punt opgehangen, dan laat men den haak achtereenvolgens gewichten van 1, 2, 3, 4, 5 ..... kilogrammen dragen. De arm B, teruggehouden door den boog *n*, blijft onbewegelijk, terwijl de arm A, medegesleept door den last, welken de boog *m* draagt, daalt,

en wel te meer naarmate het aantal kilogrammen, dat men opgehangen heeft, grooter is. Men gaat hiermede voort tot men aan de grens van buiging is gekomen, welke de veer AB kan doorstaan zonder te breken; terwijl men zorg draagt bij elke nieuwe belasting een streepje op den boog *n* te zetten, op het punt waar de arm A blijft staan. Schrijft men nu van 5 tot 5 de cijfers 0, 5, 10, 15, 20 ....., dan is de verdeeling gereed.

Om het toestel toe te passen op het meten van krachten, het schatten bij voorbeeld van de kracht, noodig om een last voort te trekken, (zie fig. 8), bevestigt men den haak van boog *m* aan dezen last, en vervolgens den ring van boog *n* in de hand nemende, trekt men zoolang tot dat men beweging verkrijgt. De buiging van den arm A toont dan op den boog *n* in kilogrammen de waarde van de trekkingskracht.

Het werktuig, dat wij daar even beschreven, dient ook als balans om het gewicht der ligchamen te bepalen en draagt dan den naam van *unster* of *weeghaak*.

De grootte van kracht, welke menschen en dieren kunnen ontwikkelen, hangt af van den tijd gedurende welken zij werken. Een man, die gedurende meerdere uren aanhoudend gelijkmatig werkt, oefent gemiddeld eene kracht uit van 8 kilogrammen. Een man, die zonder eenigen last een trap opklimt, oefent nagenoeg eene kracht uit van 65 kilogrammen, daar hij het gewicht van zijn eigen ligchaam moet opheffen; ook is deze wijze van werken zeer moeijelijk en het is onmogelijk dit lang vol te houden.

Terwijl men de krachten bij kilogrammen meet, is men overeengekomen hare grootte door dezelfde lijn voor te stellen, welke hare richting aanduidt. Daarom neemt men op deze lijn, uitgaande van het aangrijpingspunt der kracht, eene lengte-eenheid, zoo dikwijls als de grootte der kracht zelve kilogrammen houdt. Bij voorbeeld in fig. 6 zal men, zoo de trekkingskracht is 7 kilogrammen, van het punt A uit, eene lengte AB nemen, gelijk 7 malen eenige lengte-eenheid, bij voorbeeld een palm; en dan zal de trekkingskracht, door het kind hetwelk het wagentje trekt uitgeoefend, voorgesteld worden, zoowel in richting als grootte door de lijn AB.

25. **De resultanten en composanten.** Als een ligchaam aan-

gedaan wordt door eene enkele kracht, is het duidelijk, dat het zich in de richting dier kracht zal bewegen, zoo het geen hinderpaal ontmoet. Maar zoo het tegelijker tijd door meerdere

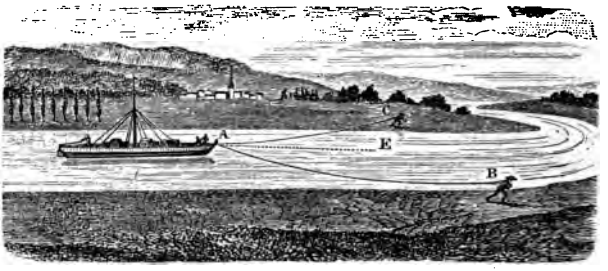


Fig. 9. Resultante.

krachten wordt aangedaan, die in richting verschillen, neemt het in het algemeen eene richting aan, die van al de andere verschilt. Bij voorbeeld zoo twee personen, ieder op den oever eener rivier, eene trekschuit voorttrekken, zoo als fig. 9 aantoont, zal de schuit noch de richting A B, noch de richting A C, in welke richtingen de beide mannen trekken, volgen, maar wel eene tusschenrichting A E: dat wil zeggen, de schuit gaat voort, alsof op haar maar eene enkele kracht werkte in de rigting A E.

Deze eenige kracht, welke men kan aanzien als gericht langs A E, en welke alleen hetzelfde uitwerkt als de trekkende krachten der beide mannen, noemt men de *resultante* van deze twee krachten en wederkeerig noemt men deze twee laatste, ten opzigte van de resultante, de *composanten*.

26. **Waarde der resultanten van twee krachten, die in één punt samenkomen; parallelogram van krachten.** Wanneer twee in richting verschillende krachten samenkomen op hetzelfde punt van een ligchaam, zooals wij in fig. 9 zagen, bestaat er tusschen hare intensiteit en die van hare resultante eene eenvoudige betrekking, welke hier verdient vermeld te worden, omdat zij tot velerlei toepassing aanleiding geeft.

Vooraf echter moeten wij eene bepaling geven van het woord *parallelogram*, waarvan wij ons bedienen. In de meetkunde noemt men parallelogram eene figuur, welke gevormd is door vier rechte lijnen, die twee aan twee evenwijdig aan

elkander zijn, (fig. 10), dat wil zeggen, dat de twee lijnen AB en CD evenwijdig zijn en evenzoo de lijnen AD en BC. Deze lijnen noemt men de *zijden* van het parallelogram en de punten A, B, C en D de *hoekpunten*. Eindelijk noemt men *diagonaal* (hoekpuntslijn) eene lijn, als AC, welke twee tegenoverstaande hoekpunten verbindt.

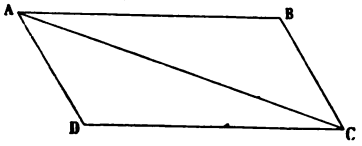


Fig. 10.

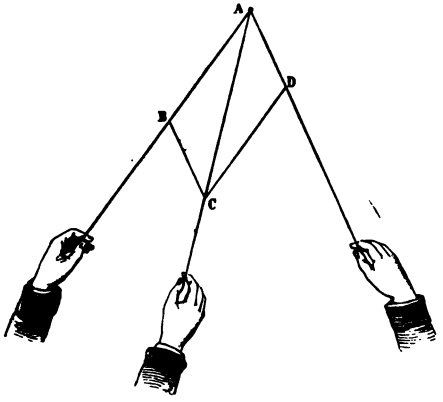


Fig 11. Parallelogram van krachten.

In de werktuigkunde bewijst men de volgende stelling, bekend onder den naam van de *stelling van het parallelogram van krachten:*

Wanneer twee krachten, die in een punt A *samenkomen* (fig. 11), *in richting en intensiteit voorgesteld worden door de zijden* AB *en* AD *van het parallelogram* ABCD, *dan wordt hare resultante èn in richting èn in intensiteit, voorgesteld door den diagonaal* AC *van dit parallelogram.* Dat is te zeggen, dat het punt A, te gelijker tijd aangedaan door twee krachten, waarvan de richtingen en intensiteiten voorgesteld worden door AB en AD, vooruitgaat in de richting AC, juist als ware dit punt slechts door eene enkele kracht aangedaan, waarvan de lijn AC èn de richting èn de intensiteit voorstelt.

Deze stelling van het parallelogram van krachten biedt ons telkens toepassingen aan. Zoo is bijv. bij een vliegenden vogel, wanneer zijne vleugels de lucht slaan, de weerstand, welken deze op beide vleugels uitoefent, gelijk aan eene stootende of duwende kracht van beneden naar boven in

Het eenvoudigste geval van evenwicht heeft plaats, wanneer twee gelijke en tegengestelde krachten op een zelfde punt van een ligchaam werken. Bijvoorbeeld wanneer twee menschen

Fig. 14. Evenwicht.

met dezelfde kracht aan een touw trekken, ieder in tegengestelden zin (fig. 14) dan is het duidelijk, dat er evenwicht zal plaats grijpen. Evenzoo, wanneer in een put twee gelijke emmers even vol water aan de beide einden van een touw zijn opgehangen, dat over eene schijf loopt, dan maakt het gewicht van den eenen noodzakelijk evenwicht met het gewicht van den anderen.

De ligchamen, welke wij gewoonlijk meenen, dat in den toestand van rust zijn, zijn werkelijk in evenwicht. Bijv. wanneer een ligchaam op een tafel rust, is er evenwicht tusschen de zwaarte, die dit ligchaam tracht te doen vallen en den weerstand, dien de tafel aan zijnen val biedt. Indien het gewicht van dit ligchaam grooter is dan de weerstand, dan wordt het evenwicht verbroken, de tafel breekt en het ligchaam valt.

30. **Middelpuntvliedende kracht.** Wij zullen het bespreken der krachten eindigen met de beschouwing van eene bijzondere kracht, die door de kromlijnige beweging ontstaat, namelijk de *middelpuntvliedende kracht.* Om ons rekenschap te geven van het ontstaan van deze kracht, moeten wij in aanmerking nemen, dat, zoo een ligchaam in eene zekere richting in beweging is gebracht, dit ligchaam ten gevolge van zijne traagheid altijd tracht zich in dezelfde richting te blijven bewegen. Bij gevolg, indien wij een ligchaam zich langs eene kromme lijn zien bewegen, kan dit niet anders zijn dan ten gevolge van een hinderpaal of van eene nieuwe kracht, die het doet afwijken. Nu kan men eene kromme lijn aanzien als eene opeenvolging van oneindig kleine rechte lijntjes, en, daar het bewegende ligchaam steeds, door zijne traagheid, het verlengde van zulk een klein recht lijntje, dat het doorloopt,

tracht te volgen, werkt het terug om zijne rechtlijnige bewegingen te behouden en om zich te verwijderen van de kromme lijn, welke het gedwongen wordt te doorloopen. Het is

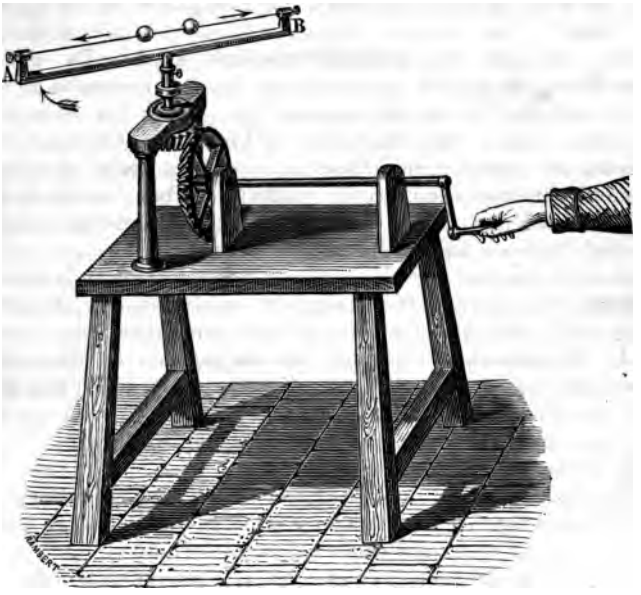


Fig. 15. Middelpuntvliedende kracht.

deze terugwerking, welke men aanduidt onder den naam van *middelpuntvliedende* kracht (*centrifugaal*-kracht, afgeleid van twee latijnsche woorden, welke *middelpunt* en *vlieden* beteekenen).

Om het ontstaan van de middelpuntvliedende kracht in de cirkelvormige beweging aan te toonen, bedient men zich van het in figuur 15 voorgestelde toestel. Over een langwerpig vierkant koperen raam A B is horizontaal een vrij dikke metalen draad gespannen, welke door twee ivoren ballen gaat, die vrij langs de geheele lengte van den draad kunnen glijden. Als men nu de ballen geplaatst heeft, zooals de figuur aantoont, brengt men het raam in eene snel draaijende

beweging, door middel van getande raderen en van een handvat, dat men omdraait. Spoedig glijden de ballen, voortgedreven door de middelpuntvliedende kracht, langs den draad en stooten tegen de beide uiteinden van het raam met des te meer kracht, naarmate de draaijende beweging sneller was.

31. **Gevolgen der middelpuntvliedende kracht.** De middelpuntvliedende kracht is zooveel te grooter naarmate de snelheid meerder is en de kromme lijn, welke het bewegende ligchaam volgt, van eene grootere kromming. Om deze reden moeten de spoorwegen geheel of nagenoeg recht zijn; want daar de treinen eene groote snelheid hebben, tracht de middelpuntvliedende kracht hen uit de sporen te werpen, zoodra zij zich in eene kromme lijn bewegen.

Ook is het een gevolg van de middelpuntvliedende kracht, dat de wielen van een rijtuig, dat snel over een slijkerigen weg rijdt, het slijk voortwerpen, dat aan hunne velgen kleeft.

In de renperken ziet men, dat de paarden en hunne berijders zich steeds naar het middelpunt van het perk overgeven: dit geschiedt om door hun gewicht evenwicht te maken met de middelpuntvliedende kracht, die hen om zou werpen zoo zij zich recht wilden houden.

Het gebruik van den sla-emmer is ook eene toepassing van de middelpuntvliedende kracht. Want het is door deze kracht dat, wanneer men den emmer doet ronddraaijen, het water, waardoor de sla vochtig was, ver weggeworpen wordt.

Indien men een hoepel over den grond doet rollen, kan hij zich langen tijd voortbewegen zonder te vallen, terwijl hij, wanneer men hem in rust staande wilde houden, dadelijk zou neervallen. Dit verklaart men hierdoor dat, wanneer hij naar eene zijde overhelt, deze helling hem op den grond eene kromme lijn doet beschrijven, welke oorzaak is van eene middelpuntvliedende kracht, die den val van den hoepel tegenwerkt, zoo lang ten minste als hij eene genoegzame snelheid behoudt.

32. **Afplatting van de aarde aan hare polen.** Wij willen nog een merkwaardig gevolg van de middelpuntvliedende kracht vermelden, namelijk de afplatting der aarde aan hare beide polen. Om ons rekenschap van dit verschijnsel te geven, moeten wij opmerken, dat de aarde, die klaarblijkelijk bol-

vormig is, in vier en twintig uren omwentelt om eene as, welke wij ons voorstellen als door hare beide polen te gaan, en dat bij deze wentelende beweging al de punten van de aardoppervlakte niet dezelfde snelheid bezitten, want allen beschrijven niet gelijke wegen. Inderdaad bij den aequator (evennachtslijn) beschrijven deze punten in vier en twintig uren een weg gelijk aan den omtrek der aarde, terwijl zij, zich van den aequator verwijderende, al kleiner en kleiner cirkels beschrijven, tot aan de polen, waar hunne beweging geheel gelijk nul is. Men begrijpt dat, ten gevolge van de wentelende beweging der aarde om hare as, er eene middelpuntvliedende kracht ontstaat, grooter bij den aequator dan bij eenig ander punt der aardoppervlakte, welke kracht trapsgewijze afneemt van den aequator tot de polen, waar zij geheel verdwijnt. Nu is toch duidelijk, dat, ten gevolge van deze ongelijkheid van intensiteit der middelpuntvliedende kracht, de moleculen der aarde hebben moeten toevloeijen van de polen naar den aequator, en dit nog te meer indien, zoo als eenige geologen aannemen, al de stoffen, die onze aarde samenstellen, in den beginne in eenen door verhoogde temperatuur vloeibaren toestand verkeerden.

Werkelijk heeft men door berekening en door rechtstreeksche meting uitgemaakt, dat de aarde afgeplat is aan hare polen en uitgezet aan den aequator, maar slechts in geringe mate, want de straal der aarde is bij de polen slechts $^1/_{304}$ kleiner dan die aan den aequator, dat is nagenoeg 20 mijlen. Eene soortgelijke afplatting heeft men met behulp van den telescoop waargenomen bij de andere planeten.

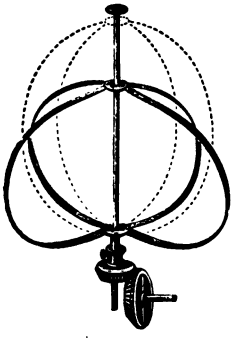


Fig. 16.
Afplatting der aarde.

Om proefondervindelijk de uitzetting der aarde aan den aequator en hare afplatting aan de polen door de middelpuntvliedende kracht aan te toonen, maakt men gebruik van het in fig. 16 voorgestelde toestel. Het bestaat uit eene ijzeren stang, welke men op het toestel voor de middelpuntvliedende kracht (figuur 15) kan bevestigen, in plaats van het stuk AB. Onder aan deze stang zijn vier

zeer buigbare stalen veeren bevestigd, welke bovenaan in een ijzeren ring samenkomen, die over deze stang heengaat en vrij op en neder kan glijden. Heeft men dit toestel zoo ingericht, dan ziet men bij snelle ronddraaijing, dat de ring langs de stang naar beneden gaat en dat de veeren zich sterker krommen, zooals bijgaande teekening aantoont; hetgeen de uitzetting aan den aequator en de afplatting aan de polen doet zien, maar in veel sterker mate dan het aan den aardbol heeft plaats gehad.

HEFBOOMEN.

33. **Werktuigkunde, werktuigen (machines).** De *werktuigkunde* is de kennis van kracht en beweging. Wanneer meerdere krachten op een ligchaam werken, doet zij de betrekking kennen, die tusschen deze krachten moet bestaan, om evenwicht met elkander te maken of om eene zekere bepaalde uitwerking te hebben.

Elk toestel, dat dient om de werking eener kracht over te brengen, is eene *machine*, en elke kracht, die eene machine in beweging brengt, is eene *bewegende kracht.* Snijdt men eene vrucht met een mes af, dan is in de hand de bewegende kracht en het mes, dat hare werking overbrengt, is eene machine. Een paard, dat een wagen voorttrekt, ziet men aan als eene bewegende kracht en de wagen, die dient om de kracht van het paard te gebruiken tot het vervoeren van lasten, is eene machine. Het water, dat een waterrad in beweging brengt, de wind, die de wieken der molens doet draaijen, de stoom, die eene locomotief doet voortgaan, zijn aan te merken als evenzoovele bewegende krachten, terwijl het waterrad, de windmolen, de locomotief machines zijn.

Machines vermeerderen geen kracht, maar terwijl zij hare werking wijzigen, stellen zij de kracht in staat om werken te volvoeren, welke zij alleen niet zoude kunnen ten uitvoer brengen. Bij voorbeeld, geholpen door den hefboom, welken wij gaan beschrijven, geraakt een mensch er toe om lasten op te ligten, welke hij op geenerlei wijze zonder hulp van machines zoude kunnen in beweging brengen. Wij zullen hier alleen den hefboom beschouwen als het eenvoudigste beginsel der machines.

34. **Hefboom.** Een hefboom is een houten of metalen staaf, welke om een vast punt, dat men *steunpunt* noemt,

kan draaijen, en op welke twee krachten werken, die haar in tegengestelde rigting trachten te doen draaijen. Die kracht, die als bewegende werkt, duidt men aan met den naam van *kracht*, de andere noemt men *den last*. Naar den betrekkelijken stand van *kracht* en *last* ten opzichte van het *steunpunt*, onderscheidt men de hefboomen in drie soorten:

1°. *Hefboom der eerste soort.* Een hefboom is van de eerste soort, als het steunpunt gelegen is tusschen de kracht en den last. Zie fig. 17. De hand vertegenwoordigt de kracht, het gewicht P is de last en het punt C is het steunpunt.

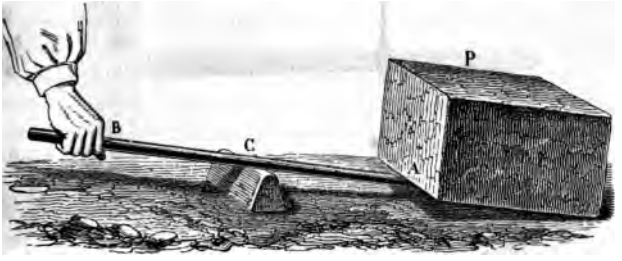


Fig. 17. Hefboom der eerste soort.

2°. *Hefboom der tweede soort.* Een hefboom is van de tweede soort, als de last gelegen is tusschen de kracht en het steunpunt, gelijk fig. 18 aantoont.

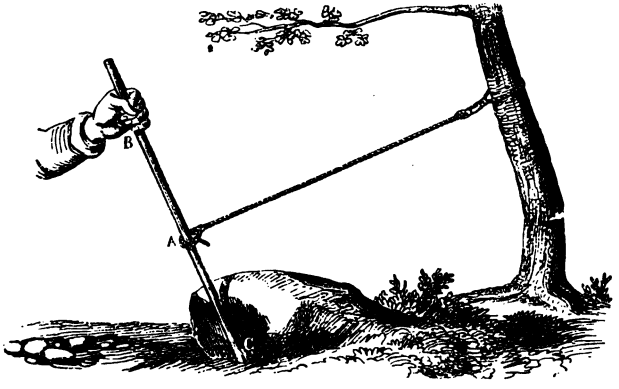


Fig. 18. Hefboom der tweede soort.

3°. *Hefboom der derde soort.* Eindelijk behoort een hefboom tot de derde soort, wanneer de kracht aangewend wordt tusschen den last en het steunpunt, zoo als wij in fig. 19 zien.

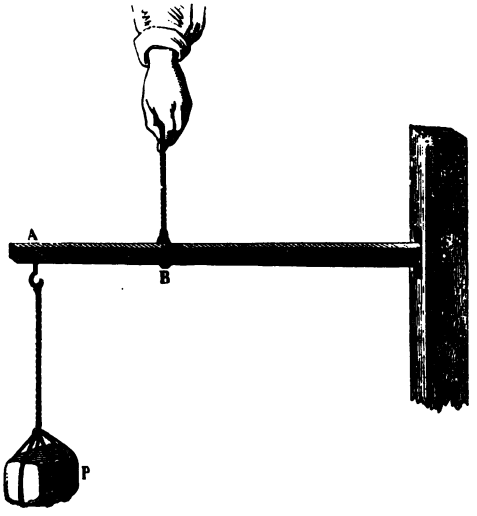


Fig. 19. Hefboom der derde soort.

In de verschillende soorten van hefboomen noemt men de afstanden van het steunpunt tot de kracht of den last den *hefboomsarm.* In fig. 18 bijv. is de afstand van C tot B de hefboomsarm der kracht en die van C tot A die van den last.

35. **Uitwerking der hefboomen, voorwaarden van evenwicht.** Men toont in de werktuigkunde aan, dat de uitwerking, welke eene kracht door middel van een hefboom voortbrengt, toeneemt in reden van de lengte van den hefboomsarm op welken zij werkt: dat wil zeggen dat, zoo die hefboomsarm twee-, drie-, viermaal langer is, de uitwerking ook twee-, drie-, viermaal grooter is. Dit deed Archimedes, van den hefboom sprekende, zeggen, dat zoo men hem een steunpunt gaf, hij de wereld zoude opligten.

Daar eene kracht des te meer uitwerking heeft naarmate zij op een grooteren hefboomsarm werkt, is het noodzakelijk, om evenwicht te hebben tusschen kracht en last, die te gelijker tijd

op een hefboom werken, dat, zoo de beide hefboomsarmen gelijk zijn, ook de *beide krachten gelijk zijn*, en zoo de hefboomsarmen ongelijk zijn, dat dan *de twee krachten in omgekeerde reden staan tot de hefboomsarmen*, dat wil zeggen, dat wanneer de kracht bijv. driemaal kleiner is dan de last, de hefboomsarm der kracht driemaal grooter moet zijn dan die van den last.

Hieruit volgt, dat bij den hefboom der derde soort de kracht altijd grooter is dan de last, want de hefboomsarm van den last AC (fig. 19) is grooter dan de hefboomsarm der kracht B C. Bij den hefbooom der tweede soort, integendeel, is de kracht altijd kleiner dan de last, want de hefboomsarm der kracht B C is altijd grooter dan die van den last A C (fig. 18). Men drukt gewoonlijk deze eigenschap der twee genoemde hefboomen uit, door te zeggen, dat *de hefboom der tweede soort doet winnen en die der derde soort doet verliezen in kracht.* De hefboom der eerste soort doet òf winnen òf verliezen, òf geen van beiden, want de hefboomsarm der kracht BC (fig. 17) kan of grooter of kleiner zijn dan, of gelijk aan A C.

36. **Verschillende toepassingen der hefboomen.** De onderscheidene soorten der hefboomen toonen ons talrijke toepassingen in eene menigte van gereedschappen, toestellen en werktuigen, die dag aan dag onder onze oogen werken. De gewone balans, die wij straks zullen beschrijven, is een hefboom der eerste soort. Evenzoo de zwengels der pompen. Ook de scharen, waarvan men zich bedient om stoffen te knippen, zijn hefboomen der eerste soort. Elk blad der schaar is een hefboom, die zijn steunpunt heeft in de schroef C, de kracht is in de hand en de last is het voorwerp, dat doorgeknipt moet worden. (fig. 20.)

Fig. 20. Voorbeeld van een hefboom der eerste soort.

Onder de hefboomen der tweede soort rangschikt men onze kruiwagens: de as van het wiel is het steunpunt, iedere boom is een hefboom van de tweede soort, waarvan in de hand, die hem opligt, de kracht en waarvan de vracht, die weggereden wordt, de last is.

Ook de roeiriemen zijn voorbeelden van deze soort van hefboomen. Het water, weerstand biedende aan het vlak van

den riem, dient als steunpunt; in de hand van den roeijer is de kracht; en de boot, die men doet voortgaan, of liever het water, dat deze verplaatst, is de last. Het hakmes, dat op een punt draait en waarvan men zich bedient om brood enz. te snijden, is ook een hefboom van de tweede soort; evenzoo de notenkraker, zooals men ligt uit bijgaande teekening zal kunnen zien. (fig. 21).

Fig. 21. Voorbeeld van een hefboom der tweede soort.

Van de drie soorten van hefboomen komt de derde het minst voor. Als voorbeeld noemen wij het pedaal bij de piano, het spinnewiel en den scharenslijperswagen. Bij dit laatstgenoemde bestaat het pedaal (zie fig. 22) uit een houten plankje A C, dat een hefboom vormt. Het steunpunt is bij C, de kracht van den voet wordt aangewend bij B, en de last, hier de weerstand, die bij de beweging van het wiel te overwinnen is, bevindt zich bij het punt A, aan het andere uiteinde van het pedaal, daar zij overgebracht wordt door eene stang op een handvat, dat aan het midden van het rad bevestigd is en het alzoo doet draaijen.

Fig. 22. Voorbeeld van een hefboom der derde soort.

Bij de tangen, die wij bij onze haarden gebruiken, is elke arm een hefboom der derde soort. In het kromme gedeelte van de tang (of het scharnier) vinden wij het steunpunt. De hand, die de tang vast houdt, oefent de kracht uit, en de last is hier de koól, die tusschen de twee armen wordt vast gehouden.

De talrijkste toepas-

singen van den hefboom der derde soort ontmoeten wij echter bij het ligchaam van menschen en dieren; want nagenoeg al hunne bewegingsorganen zijn hefboomen van deze laatste soort. Heffen wij bijv. met de hand iets op, dan is de arm de hefboom der derde soort. De last is de hand, het steunpunt is het gewricht in den schouder, en de kracht wordt ontwikkeld door de tusschen beide punten in gelegen spier.

HOOFDSTUK IV.

ALOM VERSPREIDE AANTREKKING EN ZWAARTE.

37. **Alom vrespreide aantrekking en zwaarte.** Men verhaalt dat Newton, de beroemde Engelsche natuurkundige, te Londen gestorven in het jaar 1727, eens in zijn tuin onder een appelboom zittende, terwijl een appel hem op het hoofd viel, begon na te denken over de oorzaak van den val der ligchamen en daardoor kwam tot de ontdekking van de belangrijke wetten der alom verspreide aantrekkingskracht, die de bewegingen der aarde en der sterren regelen.

Het verhaal van dezen appel zij waar of niet, altijd toch is het Newton, die het eerst ontdekt heeft, dat er tusschen al de ligchamen van het heelal eene wederkeerige aantrekking plaats grijpt, ten gevolge van welke deze ligchamen zonder ophouden trachten tot elkander te naderen, en dat het is ten gevolge van deze kracht, dat een ligchaam, zoodra het aan zich zelf is overgelaten, zich naar de aarde richt. Daar een ligchaam, op welke hoogte het ook in de atmospheer zij, steeds tracht te vallen, zooals de regen en de hagel aantoonen, besloot Newton hieruit, dat de aantrekkingskracht der aarde zich uitstrekt tot op alle afstanden, zelfs tot de maan, de zon en de overige hemelligchamen, en dat deze kracht wederkeerig is, dat wil zeggen, dat evenzeer als de aarde eene ster aantrekt, zij ook door deze ster wordt aangetrokken.

Wat de wetten aangaat volgens welke deze aantrekking werkt, Newton heeft aangetoond: dat zij des te sterker is naarmate het ligchaam meer massa heeft, dat is te zeggen eene grootere hoeveelheid stof bevat; en dat zij voor ligchamen van dezelfde massa in omgekeerde reden werkt van het vierkant

van den afstand, dat wil zeggen, dat voor een afstand, die twee, drie-, viermaal grooter is, de aantrekkingskracht vier-negen-, zestienmalen minder is.

Vatten wij dit bijeen, dan kunnen wij de theorie van Newton over de aantrekkingskracht onder de volgende termen uitdrukken:

1°. *Er bestaat tusschen alle ligchamen eene wederkeerige aantrekking, die zich tot alle afstanden uitstrekt en ten gevolge van welke zij steeds tot elkander trachten te naderen.*

2°. *De aantrekking door een ligchaam uitgeoefend neemt bij gelijken afstand toe in reden van zijne massa;* of met andere woorden, *is evenredig aan zijne massa.*

3°. *Deze aantrekking neemt bij gelijke massa af in reden van het vierkant van den afstand: of*, wat hetzelfde is, *werkt in omgekeerde reden van het quadraat van den afstand.*

38. **Gevolg der aantrekking op de beweging der hemelligchamen.** Gewoonlijk geeft men aan de aantrekking, welke de hemelligchamen op elkander uitoefenen, den naam van *gravitatie.* Terwijl de zon van al de ligchamen van ons planetenstelsel de meeste massa heeft, oefent zij ook de grootste aantrekking uit. Hieruit zou schijnbaar volgen, dat de aarde en de andere planeten, door die aantrekking, op de zon moesten vallen. Werkelijk zou dit ook het geval zijn, indien de aarde en de andere planeten alleen aan den invloed van deze aantrekking onderworpen waren; maar van den beginne bewegen zij zich ook met eene ontzettende snelheid, welke haar, ten gevolge van het volhardingsvermogen (zie 20), steeds in eene rechte lijn van de zon af tracht mede te voeren. Deze eenmaal verkregen snelheid is het, welke zich met de aantrekkingskracht (gravitatie) verbindende, die planeten, kromme (bijna cirkelvormige) lijnen om de zon doet beschrijven, welke men hare *banen* noemt.

39. **Zwaarte.** De *zwaarte* is die kracht ten gevolge van welke de ligchamen, zoodra zij niet meer ondersteund zijn, *vallen*, dat is te zeggen, zich bewegen in de richting naar het middelpunt der aarde. Deze kracht is een bijzonder geval van de algemeene aantrekking en heeft tot oorzaak de wederkeerige aantrekking, die uitgeoefend wordt tusschen de aarde en de ligchamen, die zich op hare oppervlakte bevinden.

Evenals de aantrekkingskracht, werkt de zwaarte op de

ligchamen evenredig aan hunne massa en in omgekeerde reden van het vierkant van den afstand: dat is te zeggen, dat een ligchaam, dat twee-, driemaal meer stof bevat dan een ander ook twee-, driemaal sterker door de aarde wordt aangetrokkken, of, in andere woorden, twee-, driemaal meer weegt; maar dat een ligchaam, als het zich van de aarde verwijderde, vier- of negenmaal minder zou wegen, indien het twee- of driemaal verder verwijderd was van haar *middelpunt* en niet van hare *oppervlakte;* want men toont in de mechanica aan, dat de aantrekkkende kracht, welke de aarde uitoefent op de ligchamen, gerekend moet worden in haar middelpunt gezeteld te zijn.

De grootte van den straal der aarde in aanmerking nemende, welke gemiddeld 6,366,740 meters bedraagt, kan men de ligchamen, die zich op hare oppervlakte bevinden, aanmerken als op vrij gelijken afstand van haar middelpunt gelegen te zijn en hieruit afleiden, dat hun verschil in gewicht alleen moet toegeschreven worden aan hun verschil in massa.

Eindelijk werkt de zwaartekracht gelijkelijk op alle ligchamen, zij mogen in rust zijn of in beweging, vast, vloeibaar of gasvormig; en indien sommige als bijv. de wolken, de rook, eene uitzondering hierop schijnen te maken door zich in de atmospheer te verheffen in plaats van te vallen, zal men spoedig zien, dat dit toch ook een gevolg van de zwaartekracht is.

40. **Het gewicht der ligchamen neemt toe van den aequator tot de polen.** De kracht die de ligchamen doet vallen is, streng genomen, op alle punten van den aardbol niet dezelfde. Twee oorzaken doen haar toenemen van den aequator tot aan de polen. De wenteling van de aarde om hare as doet eene middelpuntvliedende kracht (zie 30) ontstaan, werkende van het middelpunt naar de oppervlakte, dat is te zeggen, in tegengestelden zin van de aantrekkingskracht; hieruit vloeit voort, dat de ligchamen steeds aan twee krachten van tegengestelde richting onderworpen zijn; de eene, de aantrekkingskracht, hen steeds trekkende naar het middelpunt der aarde, de andere, de middelpuntvliedende kracht, die er hen steeds van tracht te verwijderen, zoodat het slechts de overmacht van de eerste kracht op de tweede is, die maakt dat de ligchamen vallen. En daar nu de middelpuntvlie-

van den afstand den aequator naar de po-
twee, drie-, vie van de zwaarte op deze
negen-, zestienn en dit verklaart, waarom
Vatten wij d emt van den aequator naar
ton over de e
uitdrukken: van de polen heeft hetzelfde ge-
1°. *Er beste* ing zijn de ligchamen op de op-
trekking, die polen dichter bij het middelpunt
van welke zij worden derhalve meer aangetrok-
2°. *De aan* vermeerdering, die uit beide boven-
gelijken afstan ortvloeit, is zeer gering en door de
woorden, *is* aar te nemen, omdat dezelfde vermeer-
3°. *Deze a* welke de ligchamen ondergaan, die men zal
het vierkant chamen ondergaan, waarmede men weegt
omgekeerde r icht men hen vergelijkt.

38. **Gevol Vertikaal). Waterpas (de Horizontaal).** Men
Gewoonlijk rechte lijn, welke de vallende ligchamen volgen,
ligchamen de richting volgens welke de zwaartekracht
Terwijl de verlengd zijnde is steeds naar het middelpunt
meeste ma icht. Hieruit volgt, als men den grooten afstand
Hieruit z vlakte der aarde tot het middelpunt in aanmerking
planeten, men op niet ver van elkander verwijderde punten
Werkelijk oppervlakte, *a* en *b* (fig. 23), deze loodlijnen als
andere p
onderwo
ook met
van het
lijn va
verkreg
kracht
cirkelv
hare *b*

Fig. 23. Loodlijn.

39.
welke aanmerken; maar zij zijn niet meer evenwijdig
vallen van elkander afgelegen punten beschouwt,
midd jnen *a* en *d* doen zien.
de al zich rechtop houdt, staat overal op de opper-
aa

vlakte der aarde met het ligchaam in de loodlijn. Maar daar wij gezien hebben, dat de richting van deze lijn voortdurend verandert, van de eene plaats naar de andere, is dit hetzelfde met de richting van de bewoners van de verschillende streken der aarde; en daar deze rond is, volgt hieruit dat op de twee uiteinden van eene middellijn (dus op twee punten, die diametraal tegen elkander overliggen) twee menschen ten opzichte van elkander zich bevinden met het hoofd naar beneden: van hier de naam van *tegenvoeters*, gegeven aan de bewoners van eene plaats ten opzichte der bewoners van eene andere daar lijnrecht tegenover gelegen.

Eene rechte lijn, een plat vlak worden gezegd *horizontaal* (waterpas) te zijn, wanneer zij loodrecht staan op de richting van de vertikaallijn. De oppervlakte van stil water is altijd volkomen horizontaal. Wij zullen, als wij van het werktuig, dat men *waterpas* noemt, spreken, het middel leeren om te zien of eene lijn, een vlak horizontaal zijn.

42. Pas- of schietlood, zijn gebruik. Men noemt *schietlood* een klein werktuig, dat dient om de vertikaal te bepalen. Het bestaat uit een looden cylinder, welke aan een draad hangt,

Fig. 24. Schietlood.

dien men in de hand houdt. Gehoorzamende aan de werking der zwaartekracht, trekt deze cylinder den draad in de richting

van deze kracht, en is zij in rust gekomen, dan is dit het teeken, dat de draad juist gestrekt is in de richting der vertikaal. Om door het schietlood te onderzoeken of eenig voorwerp, bijv. een muur, wel vertikaal is, heeft men een klein vierkant koperen plaatje, waarvan de zijden zoo groot zijn als de middellijn van den looden cylinder. In het midden van dit plaatje is eene zeer kleine opening, waardoor men den draad steekt aan welken de cylinder hangt: nu neemt men in de eene hand het plaatje en in de andere den draad en men houdt den kant van het plaatje tegen den muur (fig. 24); indien de cylinder, terwijl men hem aan den draad laat zakken, juist langs den muur glijdt, is dit een teeken dat de muur vertikaal is; raakt de cylinder den muur niet, dan is dit een teeken dat de muur voorover helt; en indien, als men het plaatje een weinig van den muur verwijdert, de cylinder dezen nog raakt, is het een bewijs, dat hij achterover helt.

43. **Gewicht der ligchamen.** Al de deeltjes van een ligchaam worden door de aarde aangetrokken: de som van deze aantrekkingen vormt het *gewicht* van het ligchaam. Men besluit hier al dadelijk uit, dat het gewicht van een lichaam moet toenemen met zijne massa: dat wil zeggen, dat zoo het twee-, driemaal meer stof bevat, het twee-, driemaal meer moet wegen: dit heeft dan ook werkelijk plaats. Men moet het gewicht niet met de zwaarte verwarren; deze laatste is de oorzaak, dat de ligchamen vallen, het gewicht is slechts het gevolg. Wij zullen weldra zien (49) hoe wij het gewicht vinden door de balans: wat de zwaarte aangaat, wij meten haar af door de snelheid, welke zij aan vallende ligchamen mededeelt, of door den slinger.

44. **Zwaartepunt.** Wij hebben gezien, dat de som van al de gedeeltelijke aantrekkingen, welke de aarde uitoefent op ieder der moleculen van een ligchaam, gelijk staat met eene eenige kracht, welke het gewicht van dit ligchaam is. Nu kan men in de mechanica aantoonen, dat in een ligchaam, van welken vorm ook, deze eenige kracht, dit gewicht altijd, zonder uitzondering, hetzelfde punt van dit ligchaam aangrijpt, hoe men dit ook moge plaatsen. Dit merkwaardig punt, op hetwelk steeds de resultante van de werkingen der zwaarte werkt, hoe men dat ligchaam ook plaatsen moge, noemt men het *zwaartepunt*.

De algemeene bepaling van het zwaartepunt van een ligaam behoort tot de meetkunde, maar in vele gevallen kan en zijne plaats dadelijk bepalen. Bij voorbeeld in eene echte staaf van gelijke stof is het duidelijk, dat het zwaarpunt in het midden gelegen is; in een cirkel, in een al bevindt het zich in het middelpunt; in een vierkant evindt het zich in het punt, waar de diagonalen elkander ijden.

45. **Proefondervindelijke bepaling van het zwaartepunt.** Men an het zwaartepunt van een ligchaam ook door de proef epalen. Hiertoe hangt men het, als het gewicht niet al te anmerkelijk is, achtereenvolgens op twee verschillende punen aan een koord: heeft het zoo opgehangen ligchaam zijn venwichtsstand ingenomen, dan bevindt zich noodwendig het waartepunt onder het ophangpunt en bij gevolg in de verenging van het koord, dat het ophoudt. Verlengt men nu de beide stellingen de vertikale lijnen van ophanging, dan ijden deze lijnen elkander, en hun snijpunt is het gezochte vaartepunt.

Van dunne en platte ligchamen, als een vel bordpapier, en strook plaatijzer, enz., kan men ook het zwaartepuut epalen, door hen in twee richtingen op eenen horizontalen

Fig. 25. Bepaling van het zwaartepunt.

ant om hun evenwichtstoestand te doen schommelen; bijv. oor hen te laten glijden langs den rand eener tafel, tot zij p het punt zijn van in den eenen of anderen zin om te laan (zie fig 25). Het zwaartepunt is dan gelegen in de anrakingslijn *a b*. Zoekt men nu een tweeden evenwichtstoetand, waarbij die lijn bijv. *c d* is, dan is het zwaartepunt,

dat zich te gelijker tijd op de beide lijnen *ab* en *cd* bevinden, in het snijpunt *g* van deze lijnen gelegen, juister te spreken, een weinig onder dit punt, binne ligchaam, op gelijken afstand van de beide oppervlak

Heeft het ligchaam eene aanmerkelijke dikte, dan men drie evenwichtstoestanden bepalen en het zwaartep dan gelegen in het punt waar zich de drie vlakken sn loodrecht getrokken op de aanrakingslijnen op het oog van evenwicht.

46. **Evenwicht van zware ligchamen.** Daar het zwaart van een ligchaam dat punt is, waar zich de geheele king der zwaartekracht vereenigt, volgt hieruit, dat men dit zwaartepunt ondersteunt, de werking der zw opgeheven wordt en dus het ligchaam in evenwicht Velerlei gevallen kunnen zich voordoen al naarmat ligchaam een of meer steunpunten heeft.

Fig. 26. Evenwicht bij één steunpunt.

Fig. 27. Evenwicht twee steunpunten.

n het geval, dat het ligchaam slechts één steunpunt et evenwicht alleen dan mogelijk, wanneer het zw

nt met dit steunpunt samenvalt of er juist boven of onder legen is in dezelfde vertikaal; want alsdan wordt de werıg der zwaartekracht opgeheven door den weerstand van het ste punt. Men heeft een voorbeeld van dezen evenwichts-stand in het schietlood (zie fig. 24); hier is het zwaarte-nt gelegen onder het steunpunt; en ook in den stok, wel-n men op den vinger doet staan, zoo als fig. 26 aantoont, welke teekening de letter *g* de plaats van het zwaarte-nt aantoont, juist boven het steunpunt.

Opdat een ligchaam, dat twee steunpunten heeft, in even-icht zij, is het niet noodzakelijk, dat zijn zwaartepunt met n van zijne steunpunten samenvalt, of er juist onder of ven gelegen is: het is voldoende dat het juist boven of ıder de rechte lijn gelegen is, die deze twee punten vereegt; want het is duidelijk dat de zwaartekracht het alsdan ch aan de eene zijde, noch aan de andere tracht om te erpen. Een man, die op stelten gaat, geeft ons een voorıeld van dezen evenwichtstoestand (fig. 27).

Fig. 28. Evenwichtstoestand bij drie steunpunten.

Eindelijk, zoo een ligchaam met drie punten op den grond ıteunt (fig. 28) of met meerdere punten, is er evenwicht zoodra het zwaartepunt zich boven de *basis* bevindt (het vlak lat door deze drie punten gevormd wordt), dat wil zeggen, zoodra de vertikaal, uit dit zwaartepunt op den grond neergelaten, tusschen de steunpunten doorgaat; want het is duidelijk, dat de zwaartekracht het ligchaam alsdan niet buiten

deze steunpunten kan omwerpen, maar het op den grond doet rusten.

47. **Verschillende evenwichtstoestanden.** Als een ligchaam, dat alleen aan de zwaartekracht onderworpen is, ondersteund wordt door een of meerdere steunpunten, kan het drie verschillende toestanden van evenwicht aanbieden, dien van *standvastig (stabiel)*, van *onstandvastig (instabiel)* en van *onverschillig (indifferent)* evenwicht.

1°. *Standvastig evenwicht.* Men zegt dat een ligchaam in den toestand van standvastig evenwicht is, wanner het, een weinig uit zijn evenwicht gebracht zijnde, van zelf weer in dien toestand komt. Dit heeft dan plaats, wanneer het ligchaam zoodanig gesteld is, dat zijn zwaartepunt zich lager bevindt dan in eenige andere stelling. Bij de geringste verplaatsing, die men aan dit ligchaam mededeelt, doet men het zwaartepunt rijzen: en daar de zwaartekracht steeds werkt om het te doen dalen, brengt deze het bij gevolg in zijne vorige stelling terug en is het evenwicht hersteld.

Een voorbeeld van dit standvastig evenwicht ontmoeten wij bij die beeldjes uit pleister of carton gemaakt, welke wij *tuimelaars* noemen, welke zich zelven in evenwicht houden, zoo men ze recht op eene tafel plaatst (fig. 29), en wanneer men ze een weinig doet hellen, van zelf weer in die stelling terugkomen (fig. 30). Deze kleine beeldjes, welke hol zijn en

Fig. 29. Fig 30.

Standvastig evenwicht.

zeer ligt, zijn van onderen opgevuld met klei of lood, zoodat *het zwaartepunt g* zeer laag gelegen is. Hieruit volgt,

at, zoo men het beeldje een weinig doet hellen, het zwaar-
:punt een weinig rijst en de zwaartekracht het dan tracht
: doen dalen, waardoor het beeldje weer in zijne oorspron-
elijke stelling terugkomt: maar dit heeft eerst plaats na een
antal schommelingen ter rechter- en ter linkerzijde, welke
:hommelingen wij aan de traagheid der stof toeschrijven,
n waarvan wij de verklaring bij den slinger zullen geven.

2°. *Onstandvastig evenwicht.* In den toestand van onstand-
astig evenwicht is een ligchaam, wanneer het, een weinig
lechts uit zijn evenwicht gebracht, niet alleen daar niet meer
een terugkeert, maar er zich meer en meer van verwijdert.
)ie toestand doet zich voor zoodra een ligchaam in zooda-
ige stelling is, dat zijn zwaartepunt hooger ligt dan bij
lke andere weinig van evenwicht verschillende stelling. Bij
:e minste verplaatsing van dit ligchaam daalt het zwaarte-
ıunt en doet de zwaartekracht het steeds neerdalen, en hier-
loor slaat het ligchaam om. Een voorbeeld van onstand-
'astig evenwicht hebben wij in den stok, dien wij op den
'inger in evenwicht trachten te houden (zie fig. 26). Zoodra
ıij ophoudt vertikaal te staan daalt zijn zwaartepunt, en ter-
vijl de zwaartekracht hem meer en meer naar beneden trekt,
'alt de stok, ten minste indien men niet zorg draagt het
steunpunt, hier den vinger, weer recht onder het zwaarte-
punt te brengen, want dit herstelt dan weer het evenwicht;
naar altijd is het een onstandvastig evenwicht.

3°. *Onverschillig evenwicht.* Een ligchaam is in den toestand
van onverschillig evenwicht, wanneer het evenwicht is in al
de stellingen die men het geeft. Deze evenwichtstoestand kan
alleen dan bestaan, wanneer het zwaartepunt des ligchaams
in de verschillende standen, die men het geeft, noch rijst.
noch daalt. Dit heeft bijv. plaats bij een bal, die op een
horizontaal vlak rust.

48. **Voorbeelden van standvastig evenwicht.** Uit hetgeen in
de twee vorige paragrafen gezegd is, volgt, dat een ligchaam
des te meer stabiliteit (standvastigheid) heeft, naarmate het
met grooter basis op den grond rust; want alsdan kan zich
het zwaartepunt, zelfs bij eene vrij groote helling, nog boven
de basis bevinden. Bij voorbeeld kandelaars, lampen, meubels
en een groot aantal huisgereedschappen zijn hunne stabiliteit
alleen aan de uitgebreidheid van hun grondvlak verschuldigd.

Ieder heeft hooren spreken van de torens van Pisa en Bologne in Italië, die zoo schuins staan, dat zij den voorbijgangers met hun val schijnen te dreigen en die toch reeds eeuwen bleven staan, omdat hun zwaartepunt altijd boven hun grondvlak gelegen is. Op nevensgaande teekening (fig. 31) zien wij den toren van Bologne voorgesteld, die in 1112 gebouwd is en bekend onder den naam van *Garisende*. Deze toren, ongeveer vijftig meters hoog en nog meer hellend dan die van Pisa, hangt ruim twee en een halve meter uit het lood. Men schrijft deze helling toe aan eene verzakking van den bodem. Naast dezen zien wij den toren *Asinelli*, den

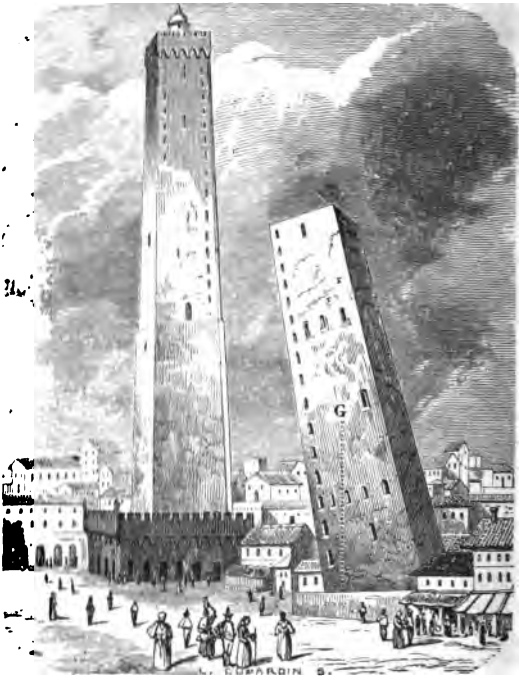


Fig. 31. Toren van Bologne.

hoogsten van Italië, honderd en tien meters hoog, welke nagenoeg een en ee[illegible] [illegible]r uit het lood is.

In de voorbeelden, welke wij tot nu toe beschouwd hebben, bleef de plaats van het zwaartepunt onveranderd voor eder ligchaam; voor den mensch en de dieren is dit niet neer het geval, daar hun zwaartepunt zich voortdurend verplaatst naar de verschillende houdingen, die zij aannemen, en naar de lasten, die zij dragen.

Indien een mensch, zonder eenigen last, regt overeind staat, dan is zijn zwaartepunt ongeveer gelegen in het midden van het onderste gedeelte van het bekken, dat wil zeggen tusschen de beide heupbeenderen. De vertikaal, uit het zwaartepunt neergelaten, gaat dan tusschen de beide voeten door. Maar dit is niet meer het geval voor een man, die een last draagt; want zijn eigen gewicht, zich voegende bij dat, hetwelk hij draagt, doet een gemeen zwaartepunt ontstaan, dat noch dat van 's mans ligchaam is, noch dat van zijn last.

In dit geval is de man, om zijne stabiliteit te bewaren, verplicht eene houding aan te nemen, die zijn zwaartepunt doet blijven boven de basis, die zijne voeten vormen (zie fig. 32). Een man integendeel, die een grooten buik heeft,

Fig. 32. 33.
Verschillende houdingen noodig voor de stabiliteit.

is genoodzaakt zich een weinig achterover te houden. Draagt men een last in ééne hand, dan voelt men de noodzakelijkheid om het ligchaam naar de andere zijde over te buigen[1] (zie fig. 33).

In de kunst van het koorddansen bestaat de groote moeijelijkheid hierin, dat men het zwaartepunt juist boven het koord houde. Om aan deze moeijelijkheid te gemoet te komen ziet men de koorddansers een langen balanseerstok in de hand houden. Zoodra zij merken, dat zij naar eene rigting overhellen, brengen zij den balanseerstok naar den tegenovergestelden kant, en daar het zwaartepunt van den danser en balanseerstok zich te gelijker tijd verplaatst, kunnen zij er toe komen om dit punt boven het koord te houden en zoo het evenwicht te bewaren.

49. **Balansen.** Men noemt *balansen* werktuigen, die dienen om het gewicht der ligchamen te leeren kennen. Deze werktuigen, die in den handel en in de wetenschap, bijv. in de werkplaatsen der natuur- en scheikundigen, in aanhoudend gebruik zijn, komen onder verschillende vormen voor. Wij zullen hier alleen de gewone balans van den handel beschrijven.

Deze balans bestaat uit eene metalen staaf A B, gewoonlijk *balk* genaamd (fig. 34), welke een hefboom is van de eerste soort. Midden door dezen balk gaat door eene driehoekige opening een stalen *mes*, dat van weerskanten buiten den balk uitsteekt, en met zijne uiteinden rust op twee *kussens*, welke weer door een koperen standaard gedragen worden. Deze kussens zijn van gepolijst staal of agaat, om bij de slingeringen de wrijving te verminderen. Aan beide einden van den balk zijn door middel van haken en koorden twee *schalen* opgehangen C en D, bestemd om op te nemen, de eene de voorwerpen die men wil wegen, de andere de wichtjes (grammen), waarvan men zich bij het wegen als eenheid van gewicht bedient. Eindelijk bevindt zich boven aan den balk een lange metalen *tong* of *naald*, die met hem schommelt over een kleinen graadboog *u*, op welks midden, het nulpunt, de naald moet wijzen, zoo de balk goed horizontaal gelegen is.

Om nu het gewicht van een ligchaam te bepalen, plaatst men dit laatste in een der schalen, bij voorbeeld in de schaal D, en in de andere brengt men gewicht, tot dat het evenwicht zich hersteld heeft. Het getal wichtjes, dat zich alsdan in de schaal C bevindt, wijst het gewicht van het ligchaam aan, mits namelijk de balans aan de volgende voorwaarden voldoet.

50. **Voorwaarden, waaraan eene goede balans moet voldoen.**

'm nauwkeurige wegingen door eene balans te verkrijgen, ıoet zij aan het volgende voldoen:

Fig. 34. Gewone balans.

I°. Eene goede balans moet *juist* zijn, d. i. zij moet juist ıet gewicht van het ligchaam aantoonen.

II°. Zij moet *gevoelig* zijn, d. i. zij moet, bij een klein 'erschil van gewicht in de beide schalen, doorslaan.

Voorwaarden van juistheid:

1°. *De beide hefboomsarmen* A*n en* B*n moeten volkomen ge-ijk zijn.* Wij hebben bij de leer van den hefboom gezien,

dat om evenwicht te hebben, als kracht en last gelijk zijn, zij ook op gelijke hefboomsarmen moeten werken. Bij gevolg kunnen alleen dan de wichtjes, die in een der schalen geplaatst zijn, juist het gewicht aanwijzen van het ligchaam dat in de andere geplaatst is, wanneer de hefboomsarmen A*n* en B*n* volkomen gelijk aan elkander zijn.

2°. *Bij ledige schalen moet de balans van zelf den evenwichts-toestand aannemen:* dat wil zeggen, de balk moet horizontaal liggen.

3°. *Het zwaartepunt van den balk moet een weinig onder den scherpen kant van het mes gelegen zijn.* Indien het hiermede samenviel en dus met het steunpunt, zoo zoude het zwaartepunt ondersteund zijn in elken stand dien men aan den balk gaf: hij zou dus voortdurend in den toestand van indifferent evenwicht zijn en hij zoude geene schommelingen kunnen maken. Indien het zwaartepunt boven het steunpunt gelegen was, zou de balk in den toestand van onstandvastig, instabiel evenwicht zijn (zie 43), en eens uit zijn horizontalen stand gebracht, zoude hij er niet weer in terug komen. In dit geval noemt men de balans *gek.*

Voorwaarden van gevoeligheid:

1°. *Hel zwaartepnt van den balk moet dicht bij het mes gelegen zijn*, omdat alsdan, wanneer de balk in helling komt, zijn gewicht slechts op een kleiner hefboomsarm werkt en die weinig weerstand biedt aan deze overmaat van gewicht van een der schalen.

2°. *De balk moet ligt zijn*, omdat de wrijving van het mes op de steunpunten afneemt, naarmate de drukking zwakker is.

3°. *De balans is zooveel te gevoeliger naarmate de balk langer is*, omdat het verschil in gewicht op de schalen dan op een grooteren hefboomsarm werkt.

51. **Middel om te bepalen of de beide hefboomsarmen gelijk zijn.** Wanneer de balk eener balans horizontaal blijft, als de schalen ledig zijn, kan men hieruit het besluit nog niet trekken, dat de beide armen juist even lang zijn; want was een der armen een weinig langer dan de andere, dan zoude het, om het evenwicht te bewaren, voldoende zijn, aan dezen eene schaal te hangen, slechts een weinig ligter dan die, welke aan den tweeden opgehangen was. Op de volgende wijze is het gemakkelijk te bepalen, of de beide hefboomsarmen al dan niet even lang zijn. In een der schalen plaatst

ıen eenig voorwerp en in de andere zoo veel gewicht, dat et evenwicht zich herstelt. Vervolgens het ligchaam brengende ı de schaal, waar het gewicht is, en dit in de schaal, waar et ligchaam was, ziet men of er nog evenwicht is, dat wil eggen, of de balk horizontaal blijft: in dit geval is de baıns nauwkeurig; integendeel, zoo het evenwicht verbroken ı, is zij valsch. En inderdaad, wanneer de beide hefboomsrmen gelijk zijn, dan zijn het noodzakelijk ook de beide gerichten, die met elkander in evenwicht zijn: en in dit geval omt het er niet op aan, in welke der beide schalen men het ı wegen voorwerp plaatst. Terwijl indien de hefboomsarıen ongelijk zijn, dit ook zoo is met de gewichten, en daar erst met den kortsten hefboomsarm het grootste gewicht overenkwam en met den langsten het kleinste, zoo moet ook het mgekeerde plaats hebben, als men het te wegen voorwerp en et gewicht, dat er evenwicht mede maakt, van schalen doet eranderen, en wordt dus het evenwigt onmogelijk.

52. **Methode der dubbele weging.** Men heeft aan Borda, ın fransch natuurkundige, die in 1799 te Parijs overleden , eene methode te danken, die bekend is onder den naam ın *de methode der dubbele weging*, en die het mogelijk maakt tuwkeurige wegingen te verkrijgen met eene balans wier men ongelijk zijn.

De methode van Borda bestaat hierin dat men in eene der halen het voorwerp legt, waarvan men het gewicht wil derzoeken, en om evenwicht te maken in de andere zoo el hagel, dat dit evenwigt tot stand komt. Voorts neemt ın van de schaal het te wegen voorwerp af, en brengt op ne plaats zooveel gewicht, dat het evenwicht zich herstelt. et getal wichtjes, dat men zoo verkrijgt, drukt juist het wicht van het voorwerp uit, omdat deze wichtjes op nzelfden hefboomsarm werken en evenwicht maken met nzelfden last, het gewicht van den hagel.

53. **Bascule, brugbalans** of **balans van Quintenz.** De *balans van intenz*, zoo genaamd naar zijn uitvinder, is voornamelijk temd om zware lasten te wegen. De balans bestaat uit bodemstuk of vloer A, waarop het ligchaam is te plaat, dat gewogen zal worden (zie fig. 35), en waaraan opgaand stuk B is bevestigd. Het geheel steunt op een nenstel HE, dat wij nader zullen beschrijven.

Aan het recht staande stuk E zijn twee ijzers bevestigd, die een balk LR steunen, door middel van een mes, dat

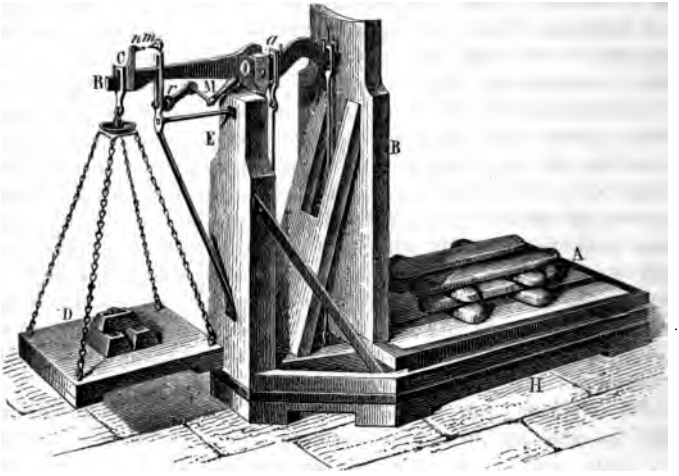


Fig. 35. Bascule of Brugbalans.

bij O door hen heengaat. De twee armen van den balk zijn ongelijk, de eene draagt de schaal D, waarop men het gewicht plaatst, dat evenwicht moet maken met den last, geplaatst op het bodemstuk; de andere arm van den balk draagt twee ijzeren stangen, die dienen om het beweegbaar gedeelte AB in ophanging te houden. Om de messen, die het bodemstuk dragen, te verligten, en om groote schokken te vermijden, wanneer men den last wegneemt, als eene weging is geschied, ligt men den arm OR op, door middel van een handvat M en brengt zoodoende een stuk *r* onder den balk, dat dezen nu steunt. Om te zien of deze balk horizontaal gelegen is, let men op twee aanwijzers *m* en *n*, de eerste bevestigd aan het stuk E, de tweede aan den balk.

Laten wij nu, om in te zien hoe dit toestel werkt, fig. 36 beschouwen, waarin wij alleen de hoofdgedeelten van het mechanisme behouden hebben.

Een hefboom *ih*, die zich in den vorm van een vork onder den vloer uitbreidt, rust met een eind op een dubbel

mes *i* en met het andere op het ondereinde van de stang L*h*, die door den balk gedragen wordt. Eindelijk rust op den hefboom *ih* in het punt *s* een tweede hefboom *eg*, bij *g* verbonden aan de stang *ag*, welke ook door den balk gedragen wordt. Voegen wij hier nog bij, dat de afstand *is* gelijk is aan een vijfde van *ih* en dat *a*O dus ook gelijk aan een vijfde OL is.

Uit deze verdeeling van de beide hefboomen *ih* en OL, in evenredige deelen, vloeijen twee belangrijke gevolgen voort:

1°. Als de balk schommelt, gaan de punten *a* en *g* eene zekere hoeveelheid op en neer, maar dan ook de punten L en *h* vijfmaal meer. Om dezelfde reden echter daalt het mes *s*, terwijl de hefboom *ih* schommelt, gesteund door het mes *i*, vijfmaal minder dan het punt *h*, en dien ten gevolge juist zooveel als het punt *g*. Derhalve de hefboom *eg* daalt evenwijdig aan zich zelf en bij gevolg ook de vloer.

2°. Uit de evenredige verdeeling der hefboomen OL en *ih* vloeit ook nog voort, dat de drukking, op de ophangingspunten uitgeoefend, door den last, die op den vloer of het bodemstuk geplaatst is, onafhankelijk is van de plaats, waar

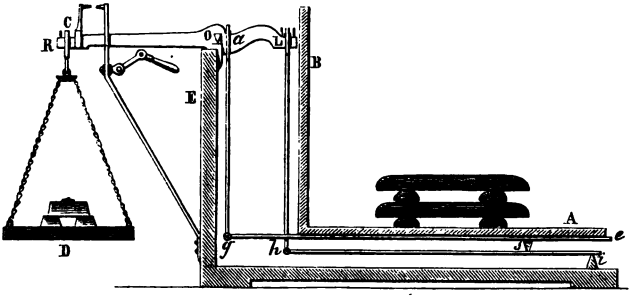


Fig. 36. Bascule of Brugbalans.

men den te wegen last legt, en dat deze last werkt juist als of hij geplaatst ware in de rigting van de stang *ag*. Men kan dit gemakkelijk uit de eigenschappen der hefboomen door eene eenvoudige berekening afleiden.

Omdat eindelijk in *a* het punt is waar het gewicht van het ligchaam, dat men weegt, aangrijpt, is het duidelijk,

dat men, om evenwicht te maken, op de schaal D een gewicht moet plaatsen zooveel minder als de hefbooms-arm O C grooter is in betrekking tot O*a*. In de meest gebruikelijke bascules is O*a* het tiende gedeelte van O C; en bij gevolg stellen de gewichten, die men in de schaal D plaatst, het tiende gedeelte voor van het gewicht van het te wegen ligchaam.

HOOFDSTUK V.

WETTEN VAN DEN VAL DER LIGCHAMEN, HELLEND VLAK, SLINGER.

54. **Wetten van den val der ligchamen in het luchtledig.** Wanneer ligchamen in het luchtledig vallen, dat is te zeggen, zonder eenigen tegenstand te ontmoeten, dan is hun val aan de drie volgende wetten onderworpen:

1°. *Alle ligchamen vallen in het luchtledig even snel.*

2°. *De door een vallend ligchaam doorloopen ruimte is evenredig aan het vierkant van den tijd, gedurende welken het viel;* dat wil zeggen, dat wanneer de doorloopen ruimte in ééne seconde $4^m,9$ is, de ruimte in twee seconden doorloopen viermaal zoo groot zal zijn of $19^m,6$ en in drie seconden negenmaal zoo groot of $44^m,1$, en zoo vervolgens.

3°. *De door een vallend ligchaam verkregen snelheid is evenredig aan den duur aan zijnen val*, dat wil zeggen, dat zoo na verloop van ééne seconde de snelheld $9^m,8$ is, zij na verloop van twee seconden zal zijn $19^m,6$ en na verloop van drie seconden $29^m,4$, en zoo vervolgens.

De eerste wet wordt door de volgende proef aangetoond: men neemt een glazen buis, ongeveer twee meters lang, gesloten aan hare beide uiteinden, maar aan een van beiden voorzien met een kraan, die toelaat haar luchtledig te maken of haar naar welgevallen weer met lucht te vullen (fig. 37). Men brengt in deze buis een klein looden balletje en een ligt ligchaam, bij voorbeeld een veertje. Terwijl de buis vol lucht is, ziet men, als men haar snel omkeert, den looden bal veel sneller vallen dan het veertje. Indien men nu de kraan op de luchtpomp, waarvan wij reeds spraken

Fig. 37. Val in het luchtledig.

(zie 11), schroeft, de lucht, die in de buis aanwezig is, er uit trekt en de buis afschroeft na alvorens de kraan weder gesloten te hebben, dan ziet men bij plotselinge omkeering, dat de looden bal en het veertje juist met dezelfde snelheid vallen, (zie nevensgaande teekening). Hieruit besluit men, dat de aantrekking der aarde, welke de oorzaak van den val der ligchamen is, met gelijke kracht werkt op alle stoffen en dat het verschil in snelheid, dat wij bij den val der ligchamen waarnemen, alleen tot oorzaak heeft den weerstand der lucht, een weerstand, welke meer merkbaar is, naarmate het ligchaam minder massa heeft en aan de lucht eene grootere oppervlakte aanbiedt.

De beide andere wetten van den val der ligchamen worden aangetoond door het hellend vlak en de machine van Atwood (zie 56 en 57).

55 **Hellend vlak.** Elk plat oppervlak, min of meer hellend ten opzichte van een horizontaal vlak, is een *hellend vlak.* Zoodanig is het vlak AB (fig. 38), zoodanig is ook het blad van een lessenaar, waaraan men schrijft.

Wanneer een ligchaam op een horizontaal vlak rust, wordt de uitwerking der zwaartekracht geheel vernietigd door den weerstand van dit vlak: dit heeft bij voorbeeld plaats bij eene vaas, die op eene tafel staat. Dit is niet meer zoo wanneer het ligchaam op een hellend vlak gelegen is: de werking der zwaartekracht ontbindt zich dan in twee krachten (zie 27), de eene loodrecht op het hellend vlak, de andere evenwijdig daaraan. De eerste kracht drukt het ligchaam tegen het vlak, zonder het eenige beweging mede te deelen, terwijl de tweede het ligchaam langs het hellend vlak doet

dalen. Maar deze laatsgenoemde kracht is slechts eene composante der zwaartekracht; zij is er slechts een gedeelte van, een derde, een vierde bij voorbeeld, al naarmate het vlak meer of minder helling heeft. Bij gevolg moet een ligchaam, op een hellend vlak geplaatst, langs dit vlak dalen;

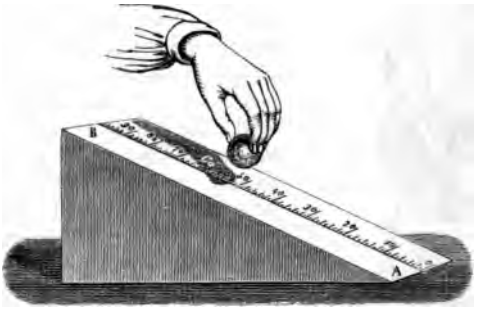


Fig. 38. Hellend vlak.

maar langzamer dan wanneer het langs de vertikaal viel: dit vindt dan ook werkelijk plaats, en de snelheid is zooveel te geringer als het vlak met den horizon een kleineren hoek maakt.

56. **Bewijs voor de tweede wet van den val der ligchamen, door het hellend vlak.** De eigenschap van het hellend vlak om den val der ligchamen te vertragen gebruikt men om deze tweede wet van den val der ligchaamen (zie 54) te bewijzen, te weten dat: *de door een vallend ligchaam doorloopen ruimte evenredig is aan het vierkant van den tijd, gedurende welken het viel.*

Om de proef te nemen, gebruikt men een hellend vlak AB (fig. 38), op hetwelk wij eene schaal vinden die in centimeters is afgedeeld: vervolgens neemt men een zuiver gepolijsten koperen bal en zoekt al tastende het punt van de schaal, waar men den bal moet plaatsen, om hem in ééne seconde het einde van het hellend vlak, dat is het punt A, te doen bereiken; zij dit bij voorbeeld de elfde verdeeling. Nu beginnen wij op nieuw en plaatsen den bal zoodanig, dat hij een viermaal langeren weg doorloopt, dat wil zeggen, dat men hem op de vierenveertigste verdeeling plaatst, en *wij zien dat hij dan* twee seconden noodig heeft om af te

dalen. Indien men hem een negenmaal grootere ruimte doet doorloopen dan den eersten keer, dat wil zeggen, negen en negentig verdeelingen, ziet men dat hij daarvoor drie seconden noodig heeft. Men besluit hieruit, dat de doorloopene ruimten toenemen als de vierkanten der valtijden.

57. **Bewijs voor de tweede en derde wet van den val der ligchamen door het werktuig van Atwood.** Men bewijst de wetten van den val der ligchamen ook door het werktuig van Atwood, die op het einde der vorige eeuw hoogleeraar in de natuurkunde te Cambridge was. Dit werktuig bestaat uit een houten zuil van omstreeks 2 meters hoogte (zie fig. 40). Aan de voorzijde is een uurwerk H aangebracht, dat, door een slinger P geregeld, seconden tikt. Rechts van de zuil vindt men eene in centimeters verdeelde schaal, welke bestemd is om de ruimte, die door het vallend ligchaam doorloopen is, te meten. Langs deze schaal schuiven 2 *loopers;* de eene A draagt eene metalen schijf, de andere B (zie fig. 44) eene schijf die in het midden doorboord is. Boven de zuil vindt men een rad R, waarvan de as niet rust op twee kussens, maar op de gekruiste vellingen van vier raderen r, r', r'', r''' (zie fig. 39). Dit verandert de glijdende wrijving in eene rollende en maakt de draaijing zeer gemakkelijk. Over het rad R loopt een koord, dat twee gewichten draagt K, K, die volkomen aan elkander gelijk zijn en in elken stand evenwicht met elkander maken.

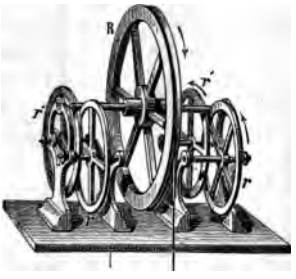


Fig 39.

Bovenaan de zuil vindt men een tafeltje n, waar men het ligchaam op plaatst, dat moet vallen (zie fig. 41). Dit tafeltje is bevestigd aan eene horizontale as, die eene nok draagt i, welke, wanneer het tafeltje n horizontaal is, ondersteund wordt door een hefboom ab, die zijn draaijingspunt in het midden heeft. Een achter de wijzerplaat bevestigde veer tracht dezen hefboom in den stand te houden, welke in fig. 41 voorgesteld is, *terwijl* een excentriek e, door een horloge-werk *bewogen, den bovensten* arm van den hefboom

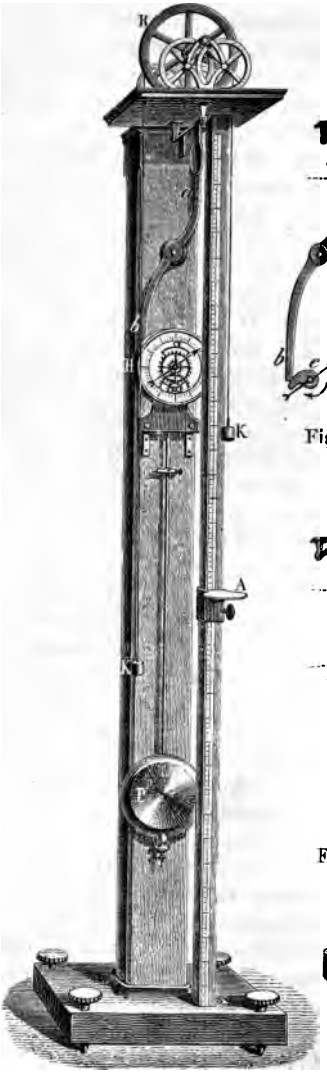


Fig. 40.

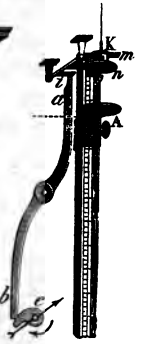


Fig. 41.

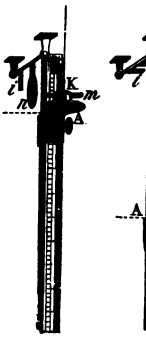


Fig. 42.

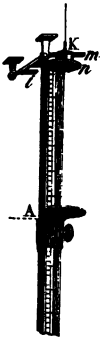


Fig. 43.

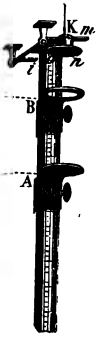


Fig. 44.

Fig. 45.

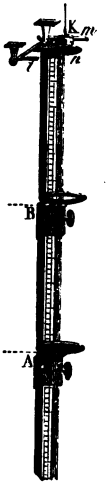


Fig. 46.

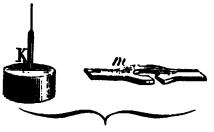


Fig. 47.

ab rechts tracht te doen hellen. Al deze stukken zijn zoo geregeld en gesteld, dat op het oogenblik, waarop de wijzer van de plaat H op het nulpunt der verdeeling geraakt, de hefboom *ab* door het excentriek wordt weg gewrongen. Het tafeltje *n* slaat neer en laat dus het ligchaam, dat het droeg, vallen (zie fig. 42).

Wij kennen nu de onderdeelen van de machine van Atwood, maar voegen hierbij, dat de vertraging, welke zij aan het vallend ligchaam mededeelt, voortvloeit uit een principe van de werktuigkunde. Dit principe leert, dat, zoo een ligchaam, hetwelk in beweging is, een ander ontmoet, dat in rust is, het aan dit ligchaam een gedeelte van zijne snelheid afstaat en wel zooveel te meer naar mate de massa van het ligchaam (in rust) meer is dan die van het eerste. Bijv. zoo een ligchaam, waarvan de massa is 1, een ander ligchaam ontmoet, dat in rust is, en waarvan de massa is 19, dan zal, daar de totale massa nu is 20, de gemeenschappelijke snelheid na de ontmoeting slechts zijn $^1/_{20}$ van de aanvankelijke snelheid van het eerste ligchaam.

Wij laten nu de proeven volgen, waarmede men de 2e en 3e wet bewijst.

1e *Proef*. — Om de tweede wet te bewijzen, dat *de doorloopen ruimten evenredig zijn aan de vierkanten van de vallijden*, plaatst men het gewicht K op het tafeltje *n* (zie fig. 41), men voegt er eenig gewicht bij, bestaande uit een koperen staafje *m* (zie fig. 47), dat op zijde eene opening heeft om het stangetje, dat aan het gewicht K bevestigd is, door te laten; daarop plaatst men onder het tafeltje *n* den looper A op zoodanig een afstand, dat het gewicht K met het staafje *m* ééne seconde behoeft om den afstand *n*A te doorloopen. Dezen afstand vindt men na eenige proeven. Indien het de massa *m* alleen was, die viel, dan zou deze in 1 seconde ongeveer 5 meters doorloopen: maar naar het principe, dat wij zoo even aangehaald hebben, kan deze massa niet vallen zonder een gedeelte van hare snelheid aan de massa's K en K', welke zij met zich mede voert, af te staan, en bij gevolg is het vallen zooveel te langzamer, als de massa *m* kleiner is met betrekking tot de som der massa's K en K'.

Heeft men de proef voorbereid als in fig. 41, dan brengt men den slinger P en hierdoor het horloge-werk in beweging. *Op het oogenblik, dat* de wijzer op het nulpunt van

de wijzerplaat geraakt, slaat het tafeltje *n* (zie fig. 42) neer, de gewichten K en *m* vallen en de ruimte *n*A is doorloopen in ééne seconde en wel met eene gelijkmatig versnelde beweging. Nu plaatst men de stukken weer evenals te voren, alleen de looper A wordt nu op een afstand gebracht, die 4 maal grooter is dan den eersten keer: dat is te zeggen, zoo de afstand A*n* eerst was 8 centimeters (zie fig. 41), deze nu wordt 32 centimeters (zie fig. 43). En nu wanneer het tafeltje *n* neerslaat, vindt men dat de gewichten K*m* juist 2 seconden noodig hebben om de ruimte A*n* te doorloopen. Herhaalt men de proef door de ruimte *n*A 9 maal grooter te nemen dan in fig. 41, dat is 72 centimeters, dan ziet men dat deze ruimte doorloopen wordt in 3 seconden. Het is dus bewaarheid, dat in 2 maal, 3 maal meer tijd eene ruimte doorloopen wordt, die 4 maal, 9 maal grooter is.

2e. *Proef.* — Om te bewijzen, dat *de verkregen snelheid evenredig is aan den duur van den val*, richt men de proef in als aangewezen wordt in fig. 44, 45 en 46. De gewichten K en *m* worden geplaatst, evenals in de vorige proef, op het tafeltje *n*; onder dit tafeltje brengt men op den afstand 8 den doorboorden looper B. Eindelijk op den afstand 16 den looper A. Wanneer nu het tafeltje *n* neerslaat gebruiken de gewichten K en *m* wederom 1 seconde om te vallen van *n* naar B. Maar aldaar wordt het toegevoegd gewicht tegengehouden door de randen van de schijf B (zie fig. 45) en het gewicht K valt alleen door zijne verkregen snelheid. De beweging, die gelijkmatig versneld was van *o* naar B, is nu gelijkmatig van B naar A; want het gewicht *m* was de oorzaak van de versnelling, en dit gewicht is nu terug gehouden, dus de versnelling houdt op. Men vindt nu dat terwijl de ruimte *o*B, gelijk aan 8, doorloopen is in 1 seconde, ook de ruimte BA, gelijk aan 16, is doorloopen in 1 seconde. Dus 16 stelt de snelheid van de eenparige beweging voor, die van het punt B af te beginnen, de versnelde beweging vervangen heeft.

Men neemt de proef nog eens en plaatst den looper B nu op den afstand 32 (zie fig. 46) en den looper A onder den looper B ook op den afstand 32. De afstand *o*B is hier 4 maal grooter dan in fig. 44; de gewichten K en *m* *hebben den dubbelen* tijd noodig om deze ruimten te door-

›open, dat is 2 seconden (zie tweede wet). Wordt ver-olgens de massa *m* op nieuw tegen gehouden door den looper ›, dan vindt men dat het ligchaam K alleen en eenparig alt van B naar A in 1 seconde. Het getal 32 tusschen › en A stelt dus de verkregen snelheid voor, te beginnen ›ij het punt B, na 2 seconden vallens. Maar in het eerste ›edeelte van de proef was de verkregen snelheid na 1 se-onde 16; dus na een dubbelen tijd is ook de verkregen nelheid dubbel. Men zou vinden na een driemaal langer ijd ook een driemaal grooter snelheid en zoo vervolgens: ›oo is dan ook deze derde wet bewezen.

58. **Slinger.** Men noemt *slinger* eene massa welke opge-ıangen is òf aan een draad, die om een vast punt bewegen ›an, òf aan een metalen staaf, die om een horizontale as ›ewegelijk is. De bal *m*, opgehangen aan een draad *cm*,

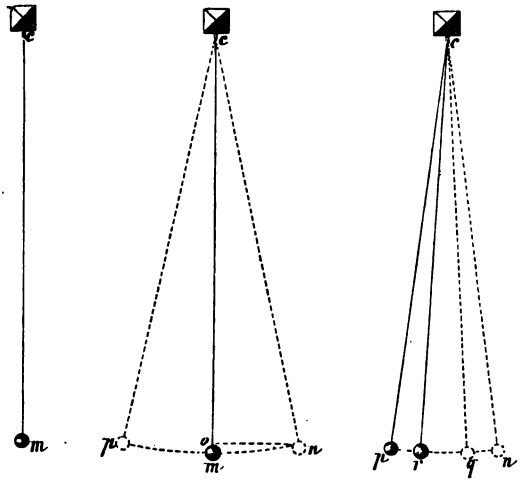


Fig. 48. Fig. 49. Fig, 50.

waarvan het boveneinde in *c* (zie fig. 48) bevestigd is, is een slinger.

Zoo lang de draad vertikaal is, en dit heeft dan plaats als het zwaartepunt van den bal juist onder het ophangpunt *c*

gelegen is, blijft de slinger in evenwicht; want de werking der zwaarte wordt vernietigd door den weerstand, dien dit punt aanbiedt. Maar dit is niet meer zoo, als men den slinger uit zijn vertikalen stand brengt, bijv. wanneer men hem brengt in den stand *cn* (fig. 49). Daar de bal gerezen is, tracht de zwaartekracht dadelijk hem te doen dalen, de bal komt dus van punt *n* in *m*, en komt daar aan juist met dezelfde snelheid, alsof hij volgens de vertikaal ware gevallen van de hoogte *om*. Dien ten gevolge houdt de bal niet stil in punt *m*, maar door zijn volhardingsvermogen, gaat hij voort zich te bewegen met zijne verkregen snelheid in de rigting *mp;* maar daar de bal nu weer gaat rijzen, werkt de zwaarte, die van *n* naar *m* als versnellende kracht werkte, nu als vertragende; want zij werkt in tegengestelden zin van de beweging: de beweging wordt dus langzamer en de bal houdt stil op een afstand *mp*, die juist gelijk aan *mn* zou zijn, indien de weerstand der lucht en ook de stijfheid van den draad *cm*, die, hoe dun hij ook zij, toch altijd eenigen weerstand biedt bij het buigen bij het punt *c*, om te komen van de rigting *cn* in de rigting *cp* en omgekeerd, niet aanwezig waren.

Op het oogenblik nu dat de bal zich in *p* stilhoudt voert de zwaartekracht, dadelijk werkende om hem te doen vallen, hem van *p* naar *m*, vanwaar hij, door zijne verkregen snelheid voortgesleept, opklimt tot *n* en zoo vervolgens, zoodat er van *n* naar *p* en van *p* naar *n* eene heen- en weergaande beweging ontstaat, die verscheidene uren kan duren.

Deze beweging wordt aangeduid door den naam van *slingerende beweging*, *slingering*. De gang van den bal van *n* naar *p* of wederkeerig van *p* naar *n* maakt eene *enkelvoudige slingering* (*oscillatie*) van den slinger uit; de gang van *n* naar *p* en de terugkeer van *p* naar *n* vormen eene *dubbele slingering;* eindelijk noemt men *amplitude* van de slingeringen of *slingerwijdte* den afstand van de twee uiterste stellingen *cn* en *cp*, welke amplitude gemeten wordt door den boog *pn*.

59. **Enkelvoudige en samengestelde slinger.** Men onderscheidt in de natuurkunde twee soorten van slingers: den *enkelvoudigen* (mathematischen) en den *samengestelden* slinger. De *enkelvoudige* zou die zijn, welke gevormd zou worden door *één enkel* stoffelijk punt, opgehangen aan een draad *zonder gewicht*. Zoodanig een slinger kan natuurlijk niet tot stand

gebracht worden; men neemt hem ook slechts aan, om op theoretischen weg tot de wetten van de slingeringen van den slinger te geraken, welke wij later zullen leeren kennen.

Samengestelden slinger noemt men elk ligchaam dat om een punt of eene as kan schommelen of slingeren. De slinger, dien wij hierboven beschouwden (fig. 48), is een samengestelde slinger. De gedaante kan op velerlei wijze veranderd worden; maar gewoonlijk bestaat hij uit een stalen stang T (fig 51), die van boven aan eene dunne en buigzame stalen veer *a* bevestigd is of aan een mes, gelijk aan dat van de balans (zie fig. 34); van onderen eindigt deze stang in een geel koperen schijf L, die van weerskanten bol is en van binnen met lood is opgevuld. Deze schijf noemt men de *lens* of *lins*, naar de overeenkomst in gedaante met het zaad van dien naam. Deze lensvormige gedaante wordt verkozen boven de spherische, omdat zij bij de slingeringen minder weerstand aan de lucht biedt.

60. **Wetten van slingeringen van den slinger, waarneming van Galileï.** Welke ook de vorm van den slinger zij, zijne slingeringen geschieden altijd naar de vier volgende wetten, waarvan wij later de toepassingen zullen zien:

1°. Voor slingers van ongelijke lengte is *de slingertijd evenredig aan den vierkantswortel uit de lengte van den slinger.*

2°. Voor een zelfden slinger is *de slingertijd onafhankelijk van zijne slingerwijdte*, zoo lang namelijk deze slingerwijdte niet eene zekere grens overschrijdt.

3°. Voor slingers van gelijke lengte maar van verschillende stof is *de slingertijd onafhankelijk van de stof waaruit deze slingers gemaakt zijn;* dat wil zeggen, zij mogen zijn van lood, van koper, van ivoor, van hout, allen slingeren in denzelfden tijd.

4°. Voor een zelfden slinger is *de slingertijd in omgekeerde rede van den vierkantswortel der zwaartekracht op de plaats, waar zich de slinger bevindt.*

Al deze wetten zijn door berekening ontdekt, uitgaande van den enkelvoudigen slinger: maar men kan ze ook door de proef bevestigen. Hiervoor neemt men een samengestelden slinger, die zoo min mogelijk van een enkelvoudigen slinger verschilt, door een klein bolletje van lood of platina op te hangen aan *een zeer dun* zijden draadje. Om de eerste wet

met dezen slinger te bewijzen, doet men hem slingeren en neemt men waar, hoeveel slingeringen hij in eene minuut volbrengt; laat ons veronderstellen 72. Nu korten wij den draad in, zoodat zijne lengte viermaal korter geworden is, en laten dezen nieuwen slinger wederom slingeren. Wij zien, dat hij nu 144 schommelingen per minuut volbrengt, dat is te zeggen, tweemaal meer: dit toont aan, dat zijn slingertijd tweemaal korter is geworden en bevestigt de wet, omdat 2 de vierkantswortel uit 4 is. Zoo vindt men ook, wanneer men den draad negenmaal korter maakt, dat de slingertijd driemaal kleiner is geworden.

Om de tweede wet te bevestigen, doet men een zelfden slinger schommelen zoodanig, dat eerst de slingerwijdte gelijk is aan *qr*, daarna aan *pn* (fig. 50), en in beide gevallen is het aantal schommelingen per minuut hetzelfde, hetgeen aantoont, dat de slingertijd onafhankelijk is van de slingerwijdte. Deze wet echter gaat alleen door voor slingerwijdten van eenige graden, dus voor zeer kleine.

Deze eigenschap, dat de slingertijd van kleine slingeringen altijd dezelfde is, hoewel hare slingerwijdte een weinig kleiner of grooter is, noemt men het *isochronisme* van den slinger. Dit woord wordt afgeleid van twee grieksche woorden, die *gelijk* en *tijd* beteekenen. De slingeringen, die aldus in gelijke tijden volbracht worden, noemt men *isochroon*. Galileï, de beroemde italiaansche natuur- en sterrekundige, leerde omstreeks het einde der XVIe eeuw het eerst den gelijken tijdduur van kleine schommelingen (isochronismus) des slingers kennen. Men verhaalt, dat hij in nog zeer jeugdigen leeftijd deze ontdekking deed, terwijl hij de schommelingen eener lamp waarnam, die aan het gewelf van de cathedraal te Pisa opgehangen was.

61. **Toepassingen van de voorgaande wetten.** 1°. Het isochronisme van de schommelingen des slingers heeft men toegepast tot het regelen der uurwerken. Het eerst maakte Huygens, hollandsch natuurkundige, in 1657 deze toepassing; terwijl hij tevens in 1675 de spiraalveer op de horloges of zakuurwerken toepaste. In fig. 51 zien wij hoe de slinger als regelaar werkt bij onze gewone klokken of pendules. Bij de klokken is de bewegende kracht een gewicht, bij de zoogenaamde *pendules is zij, zoo* als men weet, eene veer, die zich als

een spiraal oprolt, wanneer men de pendule met een sleutel opwindt, en die, zich langzaam ontrollende, het geheele raderwerk gedurende veertien dagen of drie weken drijft. Maar men begrijpt, dat de veer, indien zij zoo maar aan zich zelve overgelaten was, zich met groote snelheid zoude ontrollen en dan het werk niet meer drijven zoude. Daarom moet men zorg dragen dat de veer, terwijl men haar als drijvende kracht gebruikt, zich slechts langzaam en bovenal alleen gelijkmatig kan ontrollen. Om die reden laat men het geheele uurwerk afhangen van een rad R, dat men *schakelrad* noemt en dat zelf weer afhangt van den slinger T. Dit verkrijgt men op de volgende wijze: terwijl de slinger zijne schommeling volbrengt, brengt hij zijne beweging over op een vork A, waaraan eene stang B bevestigd is, die bovenaan om eene horizontale as O draaibaar is. Aan deze zelfde as is een stuk *mn* bevestigd, dat men om zijn vorm *anker-échappement* heet; het is boogvormig en voorzien van twee plaatjes of bekken *m* en *n*, welke in de tanden van het rad R moeten ingrijpen. Daar dit tracht te draaijen in de rigting, welke door het pijltje wordt aangeduid, ziet men dat een van zijne tanden stoot tegen het plaatje *m*, hetgeen niet alleen het rad R in zijne beweging stoort, maar bij gevolg ook al de raderen van de pendule. Maakt de slinger eene schommeling van rechts naar links, dan wordt het plaatje *m* opgeligt en het rad draait rond, maar slechts één tand, want het plaatje *n* komt neer en stoot op zijn beurt tegen een tand en houdt op nieuw het rad tegen. De slinger gaat weer terug van links naar rechts, het plaatje *n* laat den tand, welken het tegenhield, schieten, en nu is het het andere plaatje, dat het schakelrad tegenhoudt, en zoo vervolgens. Wij zien zoo, dat, bij elke schommeling van den slinger, het rad slechts één tand kan vooruitgaan. Daar nu al deze schommelingen in gelijke tijden volbracht worden, zien wij, dat het schakelrad en bij gevolg ook het geheele daarmede verbonden raderwerk bij gelijke tusschenpoozen moet vooruitgaan en stilstaan en dus ook gelijke tijdsafdeelingen moet aanwijzen. Uit hetgeen hierboven gezegd is, volgt dat men om een uurwerk, dat voor- of nagaat, te regelen, slechts den slinger, die als regulateur werkt, heeft te verlengen of te verkorten. Daarom heeft men de lens L niet vastgemaakt

aan den stang T, maar zij kan in de lengte zich langs dezen stang bewegen; men kan haar door middel van de schroef r op- en neerdraaijen Gaat het uurwerk achter, dan komt dit doordat de slinger te langzaam zijne schommelingen volbrengt en, bij gevolg, te lang is; men moet dus dien slinger korter maken, door de lens te doen rijzen; integendeel doet men de lens zakken wanneer het uurwerk voorgaat. Moeten wij onze gewone pendules iets laten achter- of voorgaan, dan verlengen of verkorten wij ook den slinger, maar deze verlenging of verkorting heeft dan plaats aan het boveneinde van den slinger; wij wijzigen dan het schommelend gedeelte van het veertje *a* door middel van een beweegbaar stuk, dat dit veertje omvat en welk stuk men naar willekeur kan doen rijzen of dalen. Dit beweegbaar stukje is op onze teekening niet voorgesteld.

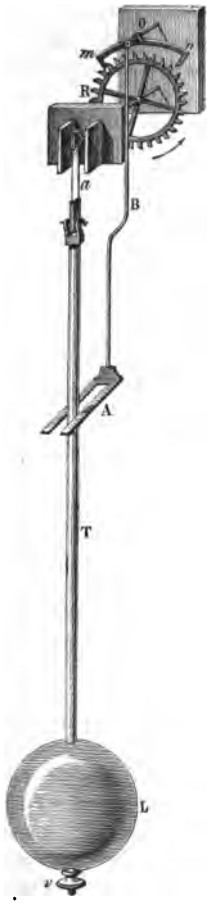


Fig. 51. Slinger met anker-échappement.

2°. De slinger heeft, naar de betrekking, welke de vierde wet van zijne schommelingen aanwijst te bestaan tusschen zijn slingertijd en de intensiteit van de zwaartekracht, nog gediend om de maat te bepalen dier intensiteit op verschillende plaatsen van onzen aardbol, en heeft hij doen zien, dat zij toeneemt van den aequator tot de polen. Ook kunnen wij door den slinger met juistheid de snelheid berekenen welke de ligchamen, in het luchtledige vallende, verkrijgen; eene snelheid, welke na eene seconde vallens te Rotterdam gelijk is aan 9.81157 meters.

3°. Léon Foucault, de beroemde natuurkundige, heeft eenige jaren geleden een merkwaardig gebruik van den slinger gemaakt, bij het

roefondervindelijk bewijs van de dagelijksche omwenteling er aarde om hare as. Het bewijs van deze proef kan echter erst met stellingen uit de hoogere mechanica geleverd worden. Froment heeft een toestel uitgedacht om de schoone roef van Foucault voor allen bevattelijk te maken. Evenwel nen moet dit toestel in werking zien, eene beschrijving zoude iog duister zijn.

62. **Metronome.** De *metronome* is ook nog eene toepassing van het isochronismus der schommelingen van den slinger. Men weet dat dit werktuig niets anders is dan een kleine slinger, waarvan zij, die muziek leeren, zich bedienen om de snelheid van maat aan te geven van de stukken, welke zij uitvoeren. Deze snelheid is niet dezelfde bij alle muziekstukken; daarom moet men den duur der schommelingen kunnen regelen. Om dit te verkrijgen vindt men op het boveneinde van den slinger, die in een looden bal B eindigt (fig. 52) en om een as *o* schommelt, een gewichtje A, dat langs de verlengde bovenstang kan glijden. Dit gewichtje nu werkt de schommelingen van den bal B tegen; want zoo deze tracht te schommelen, bij voorbeeld van rechts naar links, dan tracht het bovengewicht in tegengestelden zin te slingeren, en deze weerstand, welken het aan de beweging van den bal biedt, is des te grooter, naarmate het op een langeren hefboomsarm A*o*

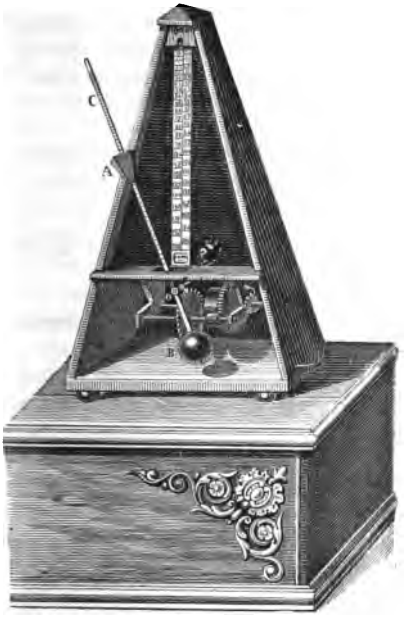


Fig. 52. Metronome.

werkt. De slingeringen van den metronome worden dus langzamer naarmate men het gewichtje A meer doet rijzen. Beneden in het werktuig bevindt zich een uurwerk, dat een schakelrad in beweging brengt en wel met zooveel kracht, dat bij elke slingering een tand hoorbaar stoot tegen een plaatje, dat aan de as *o* bevestigd is. Hierdoor ontstaat een geregelde schok, welke de maat aangeeft. Eindelijk vindt men voor aan het doosje, dat dit mechanisme bevat, een schaal met nommers, welke aanwijzen hoe hoog men het gewichtje moet plaatsen om een zeker bepaald getal slingeringen per minuut te verkrijgen. In de bijgevoegde teekening vinden wij het gewichtje op de hoogte van nommer 92; dit wijst aan, dat de slinger 92 schommelingen per minuut volbrengt.

HOOFDSTUK VI.

MOLECULAIRE AANTREKKING EN VERSCHIJNSELEN DIE ER VAN AFHANGEN.

63. **Cohesie (kracht van samenhang) en affiniteit (verwantschap).** Nadat wij onder den naam van *alom verspreide aantrekkingskracht* de aantrekking hebben leeren kennen, die tusschen de hemelligchamen bestaat, en onder dien van *zwaarte*, de aantrekking, die de massa der aarde uitoefent op de ligchamen, waardoor zij vallen, blijft ons nog over, die aantrekking na te gaan, welke de kleine moleculen der ligchamen verbindt. Deze kracht, die alleen op oneindig kleine afstanden werkt, duidt men aan, nu eens onder den naam van *cohesie (kracht van samenhang)*, dan eens onder dien van *affiniteit (verwantschap)*.

De *cohesie* is de aantrekking, die uitgeoefend wordt tusschen twee moleculen eener zelfde stof, bijvoorbeeld, tusschen twee moleculen ijzer, tusschen twee moleculen zwavel, terwijl *affiniteit* de aantrekking is, die twee moleculen van verschillende stoffen verbindt. Het water, bijvoorbeeld, bestaat uit zuurstof en waterstof; nu is het de affiniteit, die een molecule zuurstof aan een of meerdere moleculen waterstof verbindt. Even zoo bij de suiker: deze is samengesteld uit zuurstof, *waterstof en koolstof*; de kracht door welke deze drie lig-

hamen zich verbinden om een molecule suiker te vormen, ı de affiniteit. Die kracht, alhoewel slechts op de kleinste eeltjes der ligchamen werkende, speelt een groote rol in de atuur. Zij is het, die, de verbinding der enkelvoudige ligchamen bepalende, met een klein aantal van deze het ontelaar aantal organische stoffen en mineralen doet ontstaan, aarvan wij ons in het dagelijksche leven bedienen; want eze ligchamen bestaan dikwijls nit dezelfde stoffen en verchillen alleen door de hoeveelheid, die zij er van bevatten. Een weinig meer of minder koolstof, waterstof of zuurstof is oldoende om geheel verschillende ligchamen te vormen.

Wordt suiker of zout in water opgelost, dan is het de eerkeerige affiniteit, die tusschen deze stoffen en de vloeistof estaat, die de oplossing bepaalt. Wordt kool verbrand, dan s het de affiniteit, die maakt dat dit ligchaam zich met de uurstof der lucht verbindt en het gas vormt, dat men in de cheikunde kent onder den naam van koolzuur.

De afstootende kracht, welke de warmte tusschen de kleinste eeltjes opwekt (zie 4), vermindert de cohesie; het is om deze eden, dat men bij het smeden van metalen begint met ze ot roodgloeijens te verhitten, ten einde de metalen smeedaar te doen zijn. Wat de affiniteit betreft, zoo wordt deze lan eens door de warmte verzwakt, dan weder er door verterkt. Alle ligchamen van plantaardigen of dierlijken oorsprong vorden door sterke verhitting ontleed, de samenstellende elenenten scheiden zich, hetwelk duidelijk bewijst dat de affinieit overwonnen is door de terugstootende kracht, die tusschen de moleculen is opgewekt. Andere ligchamen daarentegen, zooals de koolstof en de zuurstof, de zwavel en het ijzer, unnen zich niet in de gewone temperatuur verbinden, maar loen dit wel bij verhitting; dan is de affiniteit vermeerderd. Deze werking wordt veroorzaakt doordien de warmte, terwijl ze le moleculen van elkander verwijdert, de cohesie, de kracht lie de moleculen bijeenhoudt, vermindert, en alzoo aan de moleulen der genoemde ligchamen gelegenheid geeft, gemakkelijker an hunne wederzijdsche affiniteit te gehoorzamen.

64. **Adhesie** *(aanklevingskracht)*. *Adhesie* noemt men de moeculaire aantrekking, die aan de oppervlakten van ligchamen laats grijpt, die elkander aanraken. Men heeft bij voorbeeld likwijls waargenomen dat, wanneer twee platen glas op el

ander gelegd worden, zij na eenigen tijd zoo sterk op elkander kleven, dat men ze niet meer scheiden kan, zonder ze te breken. Dit nu is, zonder twijfel, een gevolg der adhesie, die tusschen de moleculen der twee platen glas plaats grijpt.

De adhesie neemt toe met de meerdere gladheid der oppervlakten en met den langeren duur van aanraking. Zij is niet afhankelijk van de dikte der ligchamen; waaruit blijkt, dat zij enkel op zeer kleine afstanden werkt, even als alle moleculaire krachten.

Het is de adhesie, die den wederstand doet geboren worden, welken wij ondervinden bij het opbeuren van eene plank, die op het water ligt: het is dezelfde kracht die het ons moeijelijk doet vallen in vette klei te loopen. Wanneer de vaste ligchamen in water, in alcohol en in de meeste vochten gedompeld worden, komen zij er uit met eene vochtlaag overdekt; de adhesie heeft deze er aan doen hechten.

CAPILLARITEIT, OPSLORPING.

65. **Capillaire- (haarbuis-) verschijnselen.** De molecularie aantrekking geeft, wanneer zij tusschen vaste ligchamen en vloeistoffen plaats grijpt, aanleiding tot bijzondere verschijnselen, aan welke men den naam geeft van *capillaire-*, (*haarbuis-*) *verschijnselen*, omdat men ze vooral waarneemt in *capillaire buizen (haarbuizen)*. Zoo noemt men al de buizen, die eene zeer kleine inwendige doorsnede hebben. De uitdrukking is afgeleid van een latijnsch woord dat *hoofdhaar* beteekent, omdat de wijdte dezer buisjes vergeleken kan worden met de dikte van een haar. De kracht, die de genoemde verschijnselen teweeg brengt, wordt aangeduid met den naam van capillariteit. Hare uitwerkselen wisselen zeer af; wij zullen de volgende hier opnoemen:

1°. Wanneer men een ligchaam in eene vloeistof dompelt, die het nat maakt, bij voorbeeld, een klein glazen staafje in water, dan bemerkt men dat het vocht rondom het vaste ligchaam is opgeheven, zijne oppervlakte neemt een hollen of concaven vorm aan, zooals fig. 53 het aantoont.

2°. Wordt in plaats van een glazen staafje een hol glazen buisje (fig. 54) in het vocht gedompeld, zoo wordt niet alleen de vloeistof aan de buitenzijden van het buisje opgeheven, *maar het vocht* verheft zich in het binnenste des te hooger,

naarmate het buisje nauwer is, en de oppervlakte van het vocht in het buisje neemt een concaven vorm aan.

3°. Wordt daarentegen het ingedompelde buisje niet door

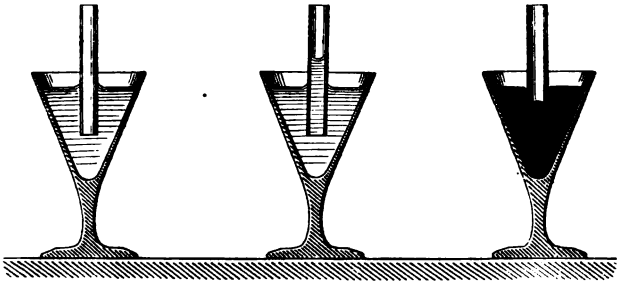


Fig. 53. Fig. 54. Fig. 55.
Capillairiteit.

de vloeistof nat gemaakt (fig. 55), hetgeen het geval is met glas in kwik, alsdan zakt de vloeistof in plaats van te rijzen, zoowel aan de buiten- als binnenzijde, en dit laatste geschiedt des te sterker naarmate het buisje nauwer is; eindelijk is de oppervlakte der vloeistof, die in het vorige geval concaaf was, nu zoowel buiten als binnen bol of convex van vorm.

Al deze en verschillende andere verschijnselen, die wij voorbijgaan, hebben tot oorzaak de moleculaire aantrekking tusschen de stof der buisjes en de vochten, vereenigd met de aantrekking der vocht-moleculen onderling.

Het is aan dezelfde kracht toe te schrijven dat de vloeistoffen aan den rand van het vat, waarin zij zich bevinden, iets hooger staan dan in het midden; als voorbeeld kan het water in een glas of karaf dienen.

66. **Wetten der capillariteit.** Omtrent de capillaire verschijnselen in buizen, waarvan de binnen-middellijn niet grooter is dan 2 millimeters, bestaan de volgende wetten:

1°. *Bij vloeistoffen, die de buizen nat maken, heeft men opstijging en deze is omgekeerd evenredig aan de binnen-middellijn der buizen;* dat wil zeggen: dat de opstijging twee- of driemaal grooter is, als deze middellijn twee- of driemaal kleiner is.

2°. *Bij vloeistoffen, die de buizen niet nat maken, heeft eene*

daling plaats en deze daling is ook omgekeerd evenredig aan de middellijnen.

Deze wetten zijn proefondervindelijk bewezen door Gay-Lussac, een beroemd fransch natuurkundige, overleden in 1850.

67. **Gevolgen der capillariteit.** Dat de olie in de lampekousjes en het gesmolten vet der kaars in de pit opstijgt, is een gevolg der capillariteit. De kleine ruimten die tusschen de katoenvezels, waaruit de kousjes of kaarsepitten vervaardigd zijn, bestaan, vervullen de rol van kleine capillaire buisjes, waarin de opstijging plaats heeft.

Bij de zeer poreuse ligchamen vormen de poriën, die met elkander in gemeenschap staan, als het ware rijen van capillaire buisjes, die hetzelfde uitwerksel ten gevolge hebben. Zoo gij, bij voorbeeld, een stukje suiker slechts met het onderste gedeelte in koffij doopt, dan zult gij de koffij spoedig zien opstijgen en weldra het geheele stukje er mede doortrokken zien. Het is zelfs opmerkenswaardig dat de suiker zich alsdan spoediger oplost, dan wanneer zij onmiddellijk, zonder voorafgaande doortrekking, er in ware geworpen, Dit komt, doordien in het laatste geval de lucht, die de poriën vult, niet zoo gemakkelijk kan ontsnappen als wanneer het stukje slechts gedeeltelijk ingedompeld is, zich alzoo verzet tegen de doortrekking met vocht en zoodoende de oplossing vertraagt.

68. **Absorptie (opslorping) en imbibitie (inzuiging).** Men verstaat door *opslorping* het binnendringen van een vreemd ligchaam, hetzij vast, vloeibaar of gasvormig, in een poreus ligchaam; en door *inzuiging* het binnendringen van een vloeistof in een vast ligchaam.

De houtskool heeft een groot opslorpend vermogen voor gassen. Inderdaad, wanneer men een stukje uitgegloeide houtskool in een klok, gevuld met koolzuur en van de lucht door kwik afgesloten, brengt, dan ziet men de hoeveelheid spoedig verminderen en men vindt dat het gedeelte dat verdwijnt en in de kool dringt, gelijk is aan 35 maal de grootte van het stukje kool. Er is zelfs een gas in de scheikunde bekend onder den naam van ammoniakgas, waarvan de opgeslorpte hoeveelheid 90 maal de grootte der kool beslaat.

In het planten- en dierenrijk treft men overal voorbeelden van opslorping aan. De wortels der planten trekken uit den grond het water en de andere zelfstandigheden, noodig tot

de voortbrenging en den groei van takken, bladeren en vruchten, op.

Bij de dieren speelt de opslorping eene gewigtige rol in de voedings- en ademhalings-verschijnselen. Het is opmerkelijk dat de dierlijke weefsels zelfs vaste stoffen kunnen opslorpen. In fabrieken, bij voorbeeld, alwaar de werklieden lood of kwikverbindingen verwerken, worden deze metalen langzaam door de dierlijke huishouding opgeslorpt en veroorzaken verschijnselen, die men niet met te veel zorg kan vermijden.

69. **Gevolgen der inzuiging.** Boven is gezegd, dat men door inzuiging verstaat de binnendringing van eene vloeistof in de poriën van een vast ligchaam. Dit is steeds een gevolg der capillariteit; want de poriën, gemeenschap met elkander hebbende, vormen rijen kleine buisjes, die wel onregelmatig, doch zeer fijn zijn, en waarin de vloeistoffen trachten op te klimmen, om dezelfde reden als waarom het water in de nauwe glazen buisjes boven zijne oppervlakte stijgt. Dit is de reden der inzuiging van het water in de sponsen, in het hout en in de aarde. Het is een gevolg der inzuiging dat tabak, in houten doozen bewaard, geheel verdroogt, terwijl ze geschikt tot gebruik blijft in gouden of zilveren tabaksdoozen, enkel omdat het metaal geen vocht inslorpt.

Terwijl het water in de plantaardige en dierlijke stoffen dringt, vermeerdert het tevens hare grootte; daardoor kan men eene menigte verschijnselen verklaren, die zich dagelijks aan onze opmerkzaamheid voordoen. Zoo men, bij voorbeeld, een groot vel papier nauwkeurig heeft gemeten, en het daarna zwak bevochtigt en weder meet, zoo vindt men dat beide afmetingen, lengte en breedte, aanmerkelijk zijn toegenomen. Deze eigenschap wordt door liefhebbers der teekenkunst toegepast om het papier, waarop zij wenschen te teekenen, strak te spannen. Zij bevochtigen het en hechten de randen door middel van mondlijm op een houten teekenplank. Bij drooging trekt het papier, dat uitgezet was, weder samen en is nu strak gespannen. Dezelfde oorzaak ligt ten grondslag als behangselpapier, na eenige dagen opgeplakt te zijn geweest, scheurt.

Om een stuk hout te buigen, wordt in de fabrieken de eene zijde, alwaar de bocht verlangd wordt, verhit, terwijl men de tegenovergestelde bevochtigt. Deze verlengt zich door

het water, dat ingezogen wordt, terwijl gene krimpt door het droogen; er volgt dus noodzakelijk eene buiging naar de zijde, die verhit wordt.

Er is reeds opgemerkt (zie 12) dat het knappend geluid, hetwelk houten meubelen bij verandering van weder soms doen hooren, veroorzaakt wordt door de verandering hunner grootte, welke zij ondergaan onder den invloed van vochtigheid of droogte.

Door opslorping van vocht worden touwen korter, door droogte, verlies van vocht, langer. Dit schijnt juist tegenovergesteld aan het boven gezegde, van vochtig papier; maar bij nadere beschouwing kan men gemakkelijk de verklaring leveren. De touwen bestaan uit hennipvezelen, die in-een gerold zijn; deze vezelen zetten uit door opneming van water, het touw wordt dus grooter; maar daar elke vezel om zich op te rollen nu een grooter weg moet doorloopen, wordt het touw meer gedraaid en daardoor korter, hetwelk des te meer zal zijn, naarmate het meer gezwollen is. Om dezelfde reden krimpen nieuwe zeilen, wanneer men ze voor het eerst nat maakt.

Het volgende verhaal is hier zeker niet misplaatst. Paus Sixtus de vijfde wilde op een der pleinen van Rome een obelisk doen plaatsen, daartoe opzettelijk uit Egypte overgebracht. Hij had bij die gelegenheid, uit vrees dat de plaatsing door eene of andere oorzaak gestoord zoude worden, doen bekend maken, dat de aanschouwers het diepste stilzwijgen moesten bewaren. Doch, terwij de obelisk op het punt was om op het voetstuk geplaatst te worden, begonnen de touwen, die hem ophielden, door de groote zwaarte van zulk een last te rekken. Eene stem, die van den bouwkundige Zapaglia, liet zich uit het midden der menigte hooren en riep: „maak de touwen nat." Men deed het, de touwen krompen en de obelisk werd geplaatst.

Van groote tot kleine zaken overgaande willen wij nog even vermelden, dat zoo likdorens bij naderend vochtig weder pijn veroorzaken, dit komt omdat zij zich uitzetten bij het opslorpen van vocht uit de lucht.

HOOFDSTUK VII.

BIJZONDERE EIGENSCHAPPEN DER VASTE LIGCHAMEN.

70. **Taaiheid.** Behalve de tot nu toe besprokene algemeene eigenschappen, die zoowel bij vaste als vloeibare en gasvormige ligchamen voorkomen, bestaan er eenige bijzondere eigenschappen, alleen aan vaste ligchamen eigen, die om hunne veelvuldige toepassing in het dagelijksch leven verdienen nader besproken te worden. Deze eigenschappen zijn de *taaiheid*, de *hardheid*, de *rekbaarheid* en de *hamerbaarheid*.

Men noemt *taaiheid* van een ligchaam den weêrstand dien het biedt aan de breking, zoo men het aan eene meer of minder hevige trekking blootstelt. Men kan deze kracht meten en haar in kilogrammen uitdrukken.

Om hiertoe te geraken geeft men aan het ligchaam, waarvan men de taaiheid zoekt, den vorm van een rolronde staaf, vervolgens bevestigt men het boveneinde en voorziet het ondereinde van eene schaal eener balans, waarop langzamerhand zooveel gewicht wordt geplaatst dat de staaf breekt. Het aantal kilogrammen, dat de breuk veroorzaakt heeft, stelt de grens der taaiheid van eene gegevene dikte voor.

Men vindt op deze wijze, dat van alle metalen het ijzer de grootste taaiheid bezit. Een ijzeren rolronde staaf van een vierkanten duim in doorsnede, breekt eerst bij eene belasting van 6000 kilogrammen, een staaf esschenhout van dezelfde grootte breekt bij 1200 kilogrammen en een eikenhouten staaf bij 700 kilogrammen; een pianosnaar breekt bij 100 kilogrammen belasting.

Zoowel de proeven als de berekeningen hebben doen zien, dat van twee staven, waarvan de eene vol, de andere hol is, doch beiden van dezelfde stof en bij dezelfde lengte evenveel wegende, de holle meer weerstand biedt aan breken, dus taaijer is, dan de volle. Eveneens is het met den wederstand, dien de ligchamen aanbieden aan de verbrijzeling, wanneer men ze zwaar belast; namelijk een holle cylinder biedt bij gelijke massa en lengte, en van dezelfde stof zijnde, meer weerstand dan een volle cylinder. Deze eigenschap der holle buizen leidt *ons tot* de opmerkelijke gevolgtrekking, dat *de beenderen der dieren*, de vederen der vogels, de halmen

der grassoorten en van vele andere planten, thans nu zij hol zijn, meer wederstand bieden aan het breken, dan het geval zoude zijn wanneer zij bij gelijke massa, dat is zonder meer te wegen, vol waren.

71. **Hardheid.** Men verstaat door *hardheid* van eene stof den tegenstand, dien de ligchamen bieden, om niet door andere ligchamen gekrast of afgeslepen te worden. Men vergelijkt de hardheid van twee ligchamen, door te zoeken welk van beiden het andere krast. Men heeft aldus bevonden dat de diamant het hardste van alle ligchamen is, want hij krast ze allen en wordt door geen enkel ander gekrast. Op dezen volgen de saffier, de robijn, het rotskristal, de vuursteen, enz. Men moet de hardheid van een ligchaam niet verwisselen met zijne weerstandbieding aan den slag of de drukking. Glas en diamant zijn veel harder dan hout, ijzer en alle andere metalen, maar zij weerstaan veel minder den slag van den hamer: zij zijn breekbaarder.

Wanneer men verschillende metalen ondereensmelt, zoo is dit mengsel in het algemeen harder dan de metalen zelve, die het samenstellen. Om de hardheid, bij voorbeeld van het goud en zilver, die beide weeke metalen zijn, te verhoogen, vermengt men ze voor versierselen en munten met koper. Eveneens vermengt men tin, ten behoeve van keukengereedschap, met een weinig lood. Van de hardheid der ligchamen trekt men voordeel bij de polijstpoeders, zooals amaril, tripel, enz., allen uit het mineraalrijk afkomstig. Daar de diamant het hardste van alle bekende ligchamen is, laat hij zich alleen door diamantpoeder afslijpen.

72. **Rekbaarheid.** De *rekbaarheid* noemt men de eigenschap, die een groot aantal ligchamen bezitten, om door eene min of meer sterke trekking of drukking tot draden of in bladen gebracht te kunnen worden.

Zekere ligchamen, zooals: was, klei, stopverw, zijn zoo rekbaar, dat men met het grootst gemak door middel der vingers er allerlei vormen aan geven kan. Voor andere, zooals glas en hars, heeft men bovendien den invloed der warmte noodig. Het glas is echter dan zoo rekbaar, dat het tot uiterst dunne draden kan getrokken worden, die zoo buigzaam zijn, dan men er geweven stoffen van kan vervaardigen. Een groot aantal metalen, zooals goud, zilver, koper, zijn zelfs bij de

gewone temperatuur rekbaar, doch er worden alsdan krachtige middelen voor vereischt, zooals de trekplaat of de plet-machine.

73. **Hamerbaarheid.** Door *hamerbaarheid* wordt de eigenschap verstaan, die enkele metalen bezitten, om door hamerslagen uitgezet te worden. Deze eigenschap neemt zeer toe bij verhooging van temperatuur: iedereen weet bijv. dat het ijzer zich gemakkelijker laat smeden als het warm dan wel als het koud is.

Het goud is zeer hamerbaar, zelfs bij de gewone temperatuur. Om het in dunne blaadjes te verkrijgen, vervaardigen de goudslagers, door middel der plet-machine, lange reepen van 2 of 3 duim breedte en ongeveer 1 streep dikte. Men snijdt deze reepen vervolgens in vierkanten en doet ze door aangebragte hamerslagen al grooter en grooter worden, vervolgens deelt men ze weder, hamert op nieuw en zoo vervolgens. Maar zoo men onmiddellijk op het metaal hamerde, zoude men de bewerking niet lang kunnen voortzetten, daar het metaal zoude scheuren; men is dus verplicht de uit te hameren blaadjes goud tusschen blaadjes eener stof te leggen, die bij eene geringe dikte eenen grooten weerstand kan bieden. Men neemt daartoe in het eerst der bewerking blaadjes perkament, dat van vet gezuiverd is, en later blaadjes goudvlies. Men verkrijgt zoodoende goudblaadjes, die zoo dun zijn dat men er 800 op elkander moet leggen om slechts één streep dikte te verkrijgen. Het zilver en koper worden op dezelfde wijze bewerkt. Het zijn zulke blaadjes, die men in de nijverheid gebruikt ter vergulding van metaal, hout, papier, geschilderd doek, enz.

De rekbaarheid der metalen verschilt naarmate men ze bewerkt op de trekbank, de plet-machine of wel met den hamer. Zoo men de gebruikelijke metalen rangschikt naarmate hunner rekbaarheid en wel in afdalende reeks, dan verkrijgt men, voor de trekbank: platina, zilver, ijzer, koper, goud, zink, tin en lood; voor de plet-machine: goud, zilver, koper, tin, lood, zink, platina en ijzer; onder den hamer staan zij weder in deze orde: lood, tin, goud, zink, zilver, koper, platina en ijzer. Al deze metalen moeten zuiver zijn; zijn ze vermengd met een of ander metaal of eene andere stof, dan zijn ze broos *en zeer weinig* rekbaar.

TWEEDE BOEK.

HYDROSTATICA.

HOOFDSTUK 1.

[illegible] DEN DRUK, DIE DOOR VLOEISTOFFEN WORDT VOORTGEPLANT EN UITGEOEFEND.

1. Onderwerp der hydrostatica. Men geeft den naam van [illegible]kunde, *Hydrostatica*, afkomstig van twee grieksche [illegible] *evenwicht van water* beteekenen, aan dat gedeelte [illegible]kunde, dat de voorwaarden van evenwicht onder[illegible] die de [illegible] vloeistoffen en die van de drukking, [illegible] op de lichamen uitoefenen. Wij zullen deze twee [illegible] der hydrostatica elk afzonderlijk nagaan, na voorafgaande [illegible] eigenschappen der vloeistoffen te hebben leeren kennen.

2. Voornaamste eigenschappen der vloeistoffen. Een der [illegible] eigenschappen van elke vloeistof is de grootheid [illegible] moleculen, welke duidelijk aantoont [illegible] die ze bijeenhoudt: wanneer [illegible] die ze verplaatsen wil, [illegible] de [illegible] over de andere. De vloeibaarheid [illegible] der moleculen [illegible]

[illegible] der vloeistoffen is de bijna [illegible] 11 heeft men [illegible] [illegible] [illegible]

veertig millioenste deelen van het oorspronkelijke volume laat samendrukken; hetwelk gelijk is aan bijna één twintigste kan per kubiek el water. Het kwik wordt bij gelijke drukking tienmaal minder samengedrukt. Bij de opgenoemde eigenschappen der vloeistoffen kunnen wij nog de volgende voegen: poreusheid, veerkrachtigheid en ondoordringbaarheid, eigenschappen, die aan alle ligchamen eigen zijn. De proef, dat de vochten poreus zijn, is reeds geleverd (zie 10); hare veerkrachtigheid is een gevolg harer samendrukbaarheid; wat hare ondoordringbaarheid betreft, zoo ondervindt men die telkens als men een vast ligchaam in water of elk ander vocht dompelt. Neemt men bij voorbeeld een vat geheel gevuld met eene of andere vloeistof en dompelt men daar een vast ligchaam in, waardoor echter geen vocht opgeslorpt kan worden, dan bemerkt men dat er over den rand van het vat evenveel vocht heenloopt als het vaste ligchaam plaats beslaat.

De groote beweeglijkheid van de moleculen der vochten en hare ondoordringbaarheid leiden ons tot de eigenschap, die deze ligchamen hebben, van de drukking, welke zij ondervinden, in alle richtingen over te brengen.

76. **Overbrenging van de drukking door de vloeistoffen in alle richtingen; stelling van Pascal.** Stellen wij ons een rolrond vat voor, bij voorbeeld een bierglas, en in dit vat een stuk hout van gelijken vorm, dat, terwijl het de wanden van het glas niet raakt, geheel op den bodem rust. Zoo men nu op dit stuk hout een zekeren druk uitoefent, zoo zal, om de eenvoudige reden der cohesie, die de moleculen vereenigt en het vervormen belet, deze drukking zich alleen aan den bodem van het vat mededeelen en niet aan de wanden. Maar zoo is het geenszins wanneer men vloeistoffen samen drukt.

Gesteld alweder een cylindrisch vat, dat verschillende mondingen heeft, allen door zuigers gesloten, die zacht glijden, (zie fig. 56). Heeft men dit vat met water of eenige andere vloeistof gevuld en oefent men op den zuiger A eenige drukking uit, dan worden al de zuigers van binnen naar buiten gedrongen. Dit doet zien dat de drukking van boven naar beneden niet alleen op zuiger D werkt, maar ook zijdelings op E en F en van beneden naar boven op B en C. Zoo men de drukking niet *uitoefende op zuiger A* maar op zuiger B, dan zou men

middel van een toestel, bekend onder den naam van *hydraulisch reactie-werktuig*, proefondervindelijk worden aangetoond. Dit toestel, voorgesteld in fig. 58, bestaat uit een lange buis C, ondersteund door een houten arm *n*, waarin zij vrij kan ronddraaijen. Aan het bovenste einde is de buis aan een vat D, waarin het water uit een vergaderbak stroomt, goed bevestigd. Eindelijk is het onderste einde der buis in een hol stuk koper gevat dat op een as rust en waaraan weder kruislings vier buizen zijn bevestigd, die elk aan hare einden horizontaal en in dezelfde richting rechthoekig omgebogen zijn. Brengt men nu water in het vat D, dan loopt dit door de lange buis en vloeit bij de omgebogene buiteneinden der vier buizen weg; zoodra dit geschiedt ziet men deze buizen eene snel draaijende beweging aannemen en wel in de richting, op de teekening door een pijltje aangewezen, welke beweging zich mededeelt aan de buis C en het vat D. Het is nu door de zijdelingsche drukking, die door het vocht, in de groote buis vervat, wordt uitgeoefend, dat deze draaijende beweging wordt te weeg gebracht. Laten wij, om ons hiervan een helder denkbeeld te vormen, eene der gebogene buizen *a* A B *b*, zooals ze ter rechterzijde der figuur afgebeeld is, nader beschouwen en veronderstellen wij eerst de openingen *a* en *b* gesloten. De kolom water, die de buis *C* vult, oefent alsdan op de tegenovergestelde wanden A en *a* gelijke doch tegen-

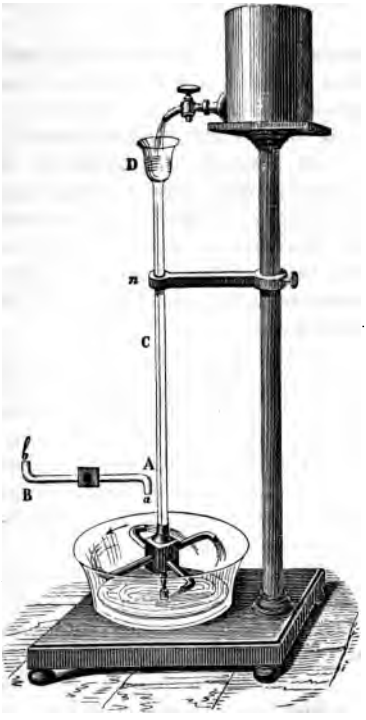


Fig. 58. Hydraulisch reactie-werktuig.

overgestelde druking, die alzoo evenwicht maken; het is hetzelfde bij B en *b*, en zoo doende kan er geene beweging noch naar de eene noch naar de andere zijde plaats hebben. Zijn integendeel de openingen *a* en *b* open, zooals werkelijk in het toestel het geval is, en loopt het water door de openingen, dan bestaat de drukking in *a* en in *b* niet meer, terwijl die in A en B blijft voortwerken; het is nu deze, die de buizen in de richting, door het pijltje aangeduid, doet bewegen. De zijdelingsche druk der vochten is de oorzaak, dat de dijken onzer groote rivieren somtijds bezwijken; zij kunnen de drukking door het water uitgeoefend alsdan niet weerstaan.

79. **Drukking van beneden naar boven door de vloeistoffen uitgeoefend.** Er rest ons te doen zien dat de drukking, die de zwaartekracht in de massa der vloeistoffen doet ontstaan, zich niet slechts horizontaal, zooals wij het in het boven beschreven toestel hebben gezien, mededeelt, maar ook van beneden naar boven. Om deze merkwaardige eigenschap der vloeistoffen, die ook nog een gevolg is van de stelling van Pascal (zie 76) duidelijk te toonen, is de proef, voorgesteld in fig. 59, het geschiktst.

Men neemt eene betrekkelijk wijde glazen buis, die aan hare beide zijden open is en men brengt tegen het ondereinde eene glazen schijf *a*, die de buis waterdicht sluit. Nadat men de schijf eerst met behulp van een in 't middelpunt gehechten draad *b* onder tegen den rand trekt, dompelt men alles in het water, zooals de figuur het aantoont; en laat dan den draad los. De sluitplaat of schijf blijft dan tegen de buis gehecht, en daaruit blijkt, dat zij van onderen naar boven eene drukking ondergaat, die grooter is dan haar gewicht. Zoo men vervolgens langzaam water in de buis giet, blijft de schijf tegen het glas gehecht, zoolang de hoogte van het vocht op de schijf *a* mind

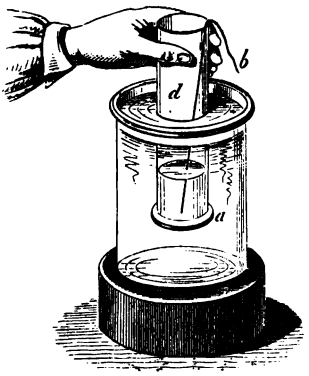


Fig. 59. Druk van beneden naar boven.

buiten de buis; maar op het oogenblik dat de hoogte aan beide zijden dezelfde is, valt de schijf op den bodem van het vat. Omdat de schijf eerst dan valt, zoo blijkt hieruit *dat de opwaartsche drukking, die op de schijf wordt uitgeoefend, gelijk is aan het gewicht eener waterkolom, die tot basis heeft de inwendige doorsnede van de buis en tot hoogte den vertikalen afstand van de schijf tot aan het oppervlak van het vocht, waarin men de buis dompelt.*

De opwaartsche drukking, die alle ondergedompelde ligchamen ondervinden, is zeer merkbaar, wanneer men de hand in het water dompelt; zij is grooter, zoo men de hand in kwik dompelt, dat, dichter zijnde, tot veel meer drukking aanleiding geeft. Het is om dezelfde reden, de drukking der vloeistoffen, dat als men een schip in den bodem doorboort, het water er met kracht indringt. Eindelijk zullen wij aanstonds zien, dat het deze zelfde drukking is, die alle ligchamen ondersteunt, welke op het water drijven of wel in de massa vocht blijven hangen.

80. **De drukking is onafhankelijk van den vorm der vaten.** De drukking, die door een vocht, ten gevolge van zijn gewicht, op een ander punt van zijne massa of op de wanden van het vat, waarin het zich bevindt, wordt uitgeoefend, is, gelijk wij boven zagen (zie 72), afhankelijk van de diepte en van de dichtheid dier vloeistof, maar zij vertoont daarenboven deze merkwaardige eigenschap *dat zij onafhankelijk is van den vorm der vaten en de hoeveelheid vocht die zij bevatten;* alzoo hangt zij, bij gevolg, voor eene zelfde vloeistof slechts af *van de hoogte.* Om deze wet door de proef aan te toonen, heeft men verschillende toestellen bedacht, uit welke wij echter dat, in fig. 60 voorgesteld, gekozen hebben.

Op een cylindrisch vat P bevindt zich een metalen deksel, dat in zijn midden een buisvormig gedeelte heeft, waarop naar willekeur drie buizen A, B, C kunnen geschroefd worden, die, verschillend van vorm en inhoud, toch allen gelijke basis hebben. Het buisvormig stuk is naar onderen verlengd door eene glazen buis *o* van gelijke middellijn en wordt gesloten door een schijfje *i*. Dit kleeft niet aan de glazen buis, maar wordt alleen tegen haren rand gedrukt, daar het opgehouden wordt door een koordje dat aan het eene eind aan zijn midden bevestigd is, en aan het andere eind aan een

der armen van eene balans is vastgemaakt. De andere arm dezer balans draagt de schaal voor de gewichten.

Na het noodige gewicht op de schaal M geplaatst en het kegelvormige vat A op het deksel van het vat P geschroefd te hebben, giet men water in het vat A zoolang totdat het schijfje *i* loslaat ten gevolge van de drukking: wij zullen stellen dat wij daartoe noodig hadden het water te gieten totdat de spiegel het punt *n* bereikte. Nu laten wij het water uit het vat A wegloopen, schroeven het af en schroeven in zijne plaats achtereenvolgens de buizen B en C op. Nu beginnen wij de proef telkens weder met hetzelfde gewicht in de schaal M, gieten wederom water in de buizen totdat het schijfje *i*

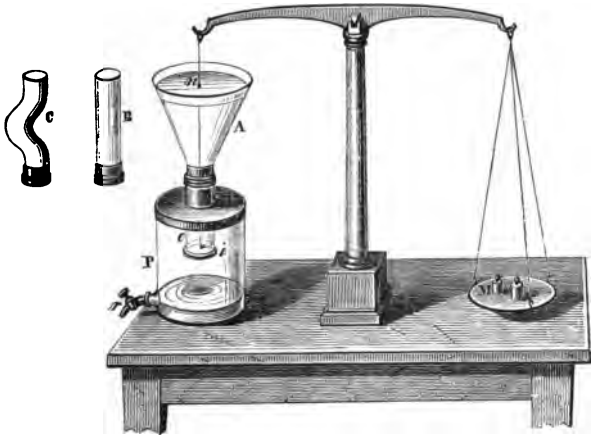


Fig. 60. De drukking is onafhankelijk van den vorm der vaten.

loslaat, en zien, dat telkens het water dezelfde hoogte bereikt als bij de eerste proef, dat wil zeggen, telkens komt tot het punt *n*. Wij zien dus dat bij *gelijke hoogte* de drukking in de drie gevallen dezelfde is en dus de stelling, die wij hierboven uitspraken, bewezen is.

Genoemde stelling wordt wel eens aangeduid met den naam van *hydrostatisch paradoxon*, om te kennen te geven, dat er iets schijnbaar strijdigs in de uitspraak gelegen is,

met zeer kleine hoeveelheden vloeistof toch groote drukking bekomen kan, zoo als de volgende proef aantoont.

81. **Proef met het vat van Pascal.** Om uit te maken hoe sterk de drukking is, die uitgeoefend wordt door vloeistoffen van gering volume, als zij bevat zijn in vaten van groote lengte, nam Pascal te Rouaan in 1647 de volgende proef. Hij bevestigde op een houten vat, dat zeer hecht en sterk gemaakt was, eene buis van geringen diameter, maar van tien meters lengte, en vulde dat vat en die buis met water. Dadelijk spatte het vat uiteen (fig. 60), door de drukking, die zich van binnen naar buiten op de duigen voortplantte; eene drukking even krachtig als of de buis een diameter gehad had zoo groot als die van het vat of zelfs veel grooter (zie 80).

Fig. 61. Het vat van Pascal.

82. **Hydraulische pers.** Wij zullen onze beschouwing van de drukking der vloeistoffen besluiten met de vermelding van eene toepassing, die men gemaakt heeft van de gelijkheid van drukking in alle richtingen (zie 71), namelijk de *hydraulische pers*, een toestel waarmede een enkel man eene aanzienlijke drukking kan uitoefenen. Wij zien zulk eene hydraulische pers voorgesteld in fig. 62 en in doorsnede in fig. 63. De hydraulische pers bestaat uit twee pompcylinders van gegoten ijzer A en B, van ongelijken diameter. In den pompcylinder A, die een zeer kleinen diameter heeft beweegt zich een cylindrische stang *a*, die, als zuiger werkende, door een hefboom O op en neêr bewogen kan worden. In den cylinder B, wiens diameter twaalf of vijftien malen zoo groot is als de cylinder A, bevindt zich een lange, gegoten ijzeren cylinder of *dompelaar C, die ook* als zuiger of perskolf werkt, en zacht

wrijvende zich in den cylinder B kan bewegen, terwijl hij hem hermetisch sluit. Deze cylinder C draagt een gegoten ijzeren plaat K, die met hem rijst en daalt. Eindelijk wordt een vaste gegoten ijzeren plaat M N door vier gegoten ijzeren kolomen gedragen: en tusschen deze twee platen K en M N plaatst men de voorwerpen, die men wil samenpersen.

Ligt men nu door middel van den hefboom O den zuiger *a* op, dan ontstaat er een luchtledig in de pompuis A;

Fig. 62. Hydraulische pers.

eene klep S, die zich beneden in de buis bevindt, opent zich, en doet het water, dat in een bak P voorhanden is, in de pompbuis vloeijen. Daalt de zuiger *a*, dan sluit zich de klep S; *maar eene klep m*, die zich onderaan in buis d *bevindt, opent zich; dien* ten gevolge ontsnapt het terugge-

drukte water door deze buis, die het voert naar de pompbuis B. Bij een tweeden slag van den zuiger *a*, wordt wederom eene hoeveelheid water opgezogen uit den bak P en teruggedrukt naar B en zoo vervolgens.

Volgens de stelling van Pascal plant zich de drukking, uitgeoefend van boven naar beneden door den zuiger *a*, over naar den zuiger C van beneden naar boven, en de uitwerking is zooveel malen grooter als de oppervlakte van den kleinen zuiger bevat is in die van den grooten. Bij voor-

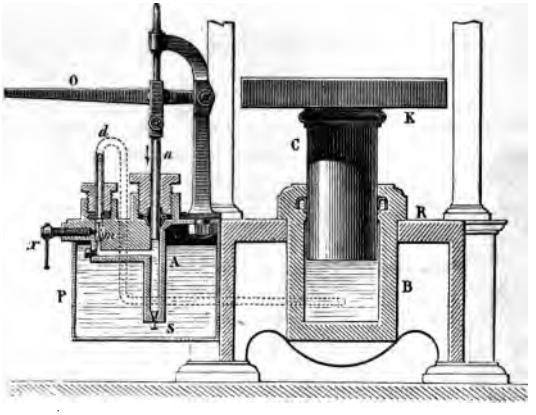


Fig. 63. Doorsnede van de hydraulische pers.

beeld indien de oppervlakte van zuiger C gelijk is aan 150 maal die van zuiger *a* en de drukking, die men, door middel van den hefboom O, op dezen uitoefent, 80 kilogrammen is, dan zal de kracht, waarmede de zuiger C wordt opgedrukt, gelijk zijn aan 150 maal 80, of 12000 kilogrammen. Met de groote hydraulische persen, die men in de nijverheid gebruikt, kan men eene drukking uitoefenen van 50000 kilogrammen. Deze verbazende drukking wordt door den zuiger C op de ijzeren plaat K overgebracht, die, zich naar boven bewegende, de ligchamen samenperst, die zich op haar bevinden.

De hydraulische pers wordt gebruikt om die stoffen te *persen, waarvan* men het sap wil verkrijgen: bij voorbeeld

oliezaden, beetwortelen. Ook wordt zij aangewend om ligchamen samen te drukken en zoo het volume er van te verminderen, als: hooi, wol, katoen, om ze des te beter te kunnen verschepen. Ook dient zij om kanonnen, stoomketels en kettingen op de proef te stellen en eindelijk ook nog om zware lasten op te heffen. Bij voorbeeld toen men de Cathédraal te Straatsburg herstelde, werd de torenspits eenigen tijd opgehouden door vier hydraulische persen.

HOOFDSTUK II.

EVENWICHT DER VLOEISTOFFEN.

83. **Voorwaarden voor het evenwicht van drupvormige vloeistoffen.** Wij hebben gezien, dat het voor een vast ligchaam om in evenwicht te blijven voldoende is, dat zijn zwaartepunt door een vast punt ondersteund wordt (zie 42), want al de andere deelen van het ligchaam behouden dan denzelfden evenwichtstoestand door de cohesie, die hen aan elkander en aan het zwaartepunt verbindt. Dit vindt echter bij de drupvormige vloeistoffen geen plaats meer: ten gevolge van de groote beweeglijkheid harer moleculen en de gemakkelijkheid, waarmede zij onophoudelijk aan de werking der zwaartekracht gehoorzamen, trachten deze ligchamen steeds weg te vloeijen en zich horizontaal uit te spreiden, zoodra zij niet door eenig beletsel teruggehouden worden. Dien ten gevolge kan eene drupvormige vloeistof slechts in evenwicht zijn, als zij aan de drie volgende voorwaarden voldoet:

1°. *De drupvormige vloeistof moet bevat zijn in vaten, wier wanden de uitstrooming beletten, terwijl zij weerstand bieden aan de door haar uitgeoefende drukking.*

2°. *Iedere molecule moet in alle richtingen gelijke en in richting tegengestelde drukkingen ondergaan.*

3°. *De oppervlakte moet horizontaal zijn; dat wil zeggen, overal loodrecht op de richting der zwaartekracht.*

De beide eerste voorwaarden zijn uit haar zelve duidelijk. Om ons van de derde rekenschap te geven, moeten wij opmerken, dat in eene *vloeistof*, waarvan de oppervlakte horizontaal *is, al de moleculen* elkander steunen en dat er dus,

als een nooodzakelijk gevolg, evenwicht moet wezen. Zoo integendeel de oppervlakte *niet* horizontaal is als in fig. 64, dan oefent het hoogste gedeelte *a b* op de horizontale laag *b d* eene drukking uit veel grooter dan het gedeelte *c d*. Bij gevolg ondervindt eenig molecule *o* van de horizontale laag eene drukking grooter in de richting *b o* dan in de richting *d o*: evenwicht is dus niet mogelijk.

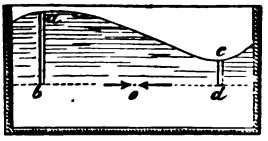


Fig. 64.

Zoo wij zeggen dat voor eene vloeistof, om in evenwicht te zijn, de oppervlakte horizontaal moet wezen, is het noodig op te merken, dat wij bij deze stelling het geval aannemen, dat de zwaartekracht de eenige kracht is die op de vloeistof werkt; en dit is het gewone geval. Indien er andere krachten op werken, zoo als plaats heeft bij de *capillaire* verschijnselen (zie 59), waar de vloeistof door de wanden wordt aangetrokken, neemt de oppervlakte eene helling aan, loodrecht op de resultante der krachten die op de vloeistof werken.

84. **Het niveau (waterpas) der vloeistoffen.** Men noemt eene vloeistof *waterpas*, als al de punten harer oppervlakte in een zelfde horizontaal vlak gelegen zijn. Men kan dit echter slechts toepassen op oppervlakten van kleine uitgebreidheid. Daar de richting der vertikaal op elke andere plaats van de oppervlakte van onze aarde ook eene andere is, is dit natuurlijk ook hetzelfde voor ieder horizontaal vlak; dat wil zeggen, dat een horizontaal vlak op eenig punt van de aardoppervlakte niet evenwijdig is aan een tweede horizontaal vlak op een nabij gelegen punt: deze vlakken hellen ten opzichte van elkander. Dien ten gevolge begrijpt men dat eene vloeibare oppervlakte van zekere uitgestrektheid in den evenwichtstoestand, horizontaal moetende zijn op elk harer punten, niet een eenig en zelfde plat vlak kan vormen, maar zal bestaan uit eene aaneenschakeling van platte vlakken, die ten opzichte van elkander hellen, en dus een gebogen oppervlak vormen.

Men kan echter deze kromming niet opmerken bij vloeibare oppervlakten van kleine uitgebreidheid, als bij water bijv. in een vat heeft; want in dit geval is de oppervlakte

nog zoo volkomen waterpas, dat zij de lichtstralen, als de best afgewerkte vlakke spiegel, terugkaatst. Voor eene groote uitgestrektheid van water, als bij de zee, kan men deze kromming ligt aantoonen. Zoo de oppervlakte der zeeën volkomen vlak ware, zoude een schip, dat zich van den oever verwijderde, alleen door den afstand ophouden zigtbaar te zijn en het zouden de minst in het oog vallende deelen zijn, de masten en het want, die wij het eerst uit het oog zouden verliezen. Juist het tegenovergestelde nemen wij waar, want eerst verdwijnt de romp zelf van het schip onder den horizon, daarna het onderste gedeelte der masten, en dan eerst hun top, hetgeen wij in nevensgaande teekening (fig. 65) zien voorgesteld en de kromming van de oppervlakte der zee bewijst.

85. **Waar en schijnbaar niveau.** Wanneer wij ons eene groote uitgestrektheid water voorstellen, bij voorbeeld de Middellandsche zee, dan zegt men dat haar oppervlak waterpas is, als al de punten van hare oppervlakte even ver gelegen

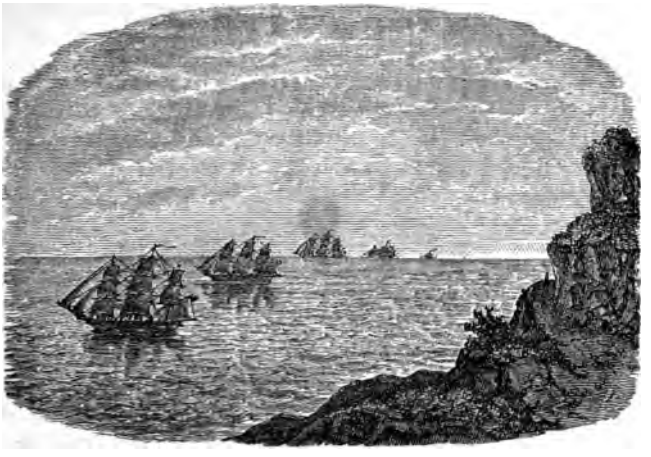


Fig. 65. Bolrondheid der zee.

zijn van het middelpunt der aarde. Dit waterpas is het *ware;* terwijl dat waterpas, hetwelk men omschrijft door te zeggen, dat al de punten van de oppervlakte der vloeistof in het-

zelfde horizontaal vlak moeten gelegen zijn, het *schijnbare waterpas*, het *waterpas voor het oog* is. Alleen voor kleine vloeibare oppervlakten is het ware en schijnbare hetzelfde waterpas. Zoo de aarde niet om eene as wentelde, zoude de oppervlakte van al de zeeën het ware waterpas voorstellen; maar ten gevolge van de middelpuntvliedende kracht, die uit hare dagelijksche omwenteling voortspruit (zie 30), is het water opgezet bij den aequator en staat daar hooger dan bij de polen.

86. **Evenwicht van vloeistoffen in communicerende vaten.** Het streven der vloeistoffen om zich waterpas te plaatsen openbaart zich niet alleen, wanneer zij in slechts één vat zich bevinden, maar ook wanneer zij in vaten zijn, die onderling gemeenschap hebben. Ja welke dan ook de vorm of afmeting

Fig, 66. Communicerende vaten met ééne vloeistof.

dezer vaten moge wezen, *eene vloeistof kan daar alleen dan in evenwicht zijn, wanneer het niveau in al die vaten hetzelfde is.*

Om deze stelling met de proef te bewijzen, maakt men gebruik van een toestel, dat wij in fig. 66 voorstellen. Het is eene samenstelling van vaten, zeer verschillend in inhoud en vorm, die allen gemeenschap hebben door middel van een *horizontale* buis. Wanneer wij hier nu de eene of andere

eistof in gieten, zien wij het niveau te gelijker tijd rijzen wel in al de vaten tot juist dezelfde hoogte. Nu is er : evenwicht. Want daar wij gezien hebben, dat de druk-g, die door eene vloeistof wordt uitgeoefend, niet afhangt ı hare hoeveelheid maar wel van hare hoogte (zie 75), ı zal, zoodra deze hoogte in alle vaten boven de gemeen-appelijke buis *a b c* dezelfde is, ook de drukking nood-telijk overal gelijk moeten zijn; derhalve zal er evenwicht ı, daar er geene reden is waarom de vloeistof eerder van naar *a*, dan van *a* naar *b* zoude wegvloeijen.

87. **Evenwicht van ongelijksoortige drupvormige vloeistoffen in amunicerende vaten.** Wij veronderstellen in hetgeen voor-gaat, dat al de comunicerende vaten slechts ééne vloeistof vatten. Het kan echter ook voorkomen, dat deze vaten

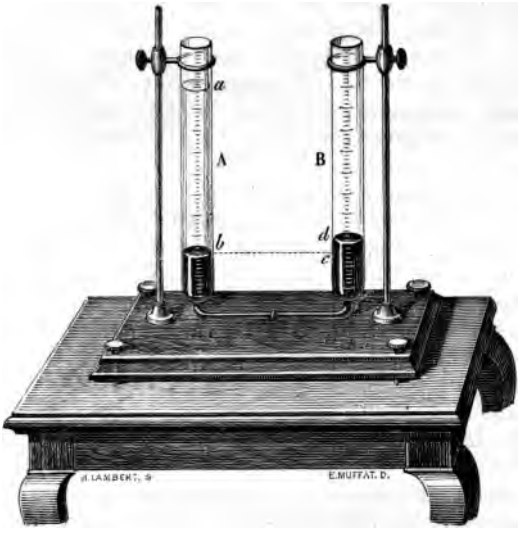


Fig. 67. Communicerende vaten met twee ongelijksoortige vloeistoffen.

eistoffen van ongelijke dichtheid bevatten. In dit geval is niveau in de verschillende vaten niet meer hetzelfde, de ıst dichte vloeistoffen *staan het* hoogst, en wij zullen aan-

toonen dat de voorwaarde van evenwicht deze is: *dat de hoogten der vochtkolommen, die evenwicht met elkander maken, in omgekeerde reden zijn van de dichtheid der vloeistoffen*, dat wil zeggen, dat zoo de dichtheid van eene der vloeistoffeu twee- of driemaal grooter is dan die van andere, hare hoogte twee- of driemaal minder moet wezen.

Met de volgende proef wordt deze waarheid bewezen: wij nemen een toestel, voorgesteld in fig. 67. Het bestaat uit twee glazen buizen A en B, die door eene buis van kleine middellijn verbonden zijn. Deze buizen worden door twee standaards gesteund en op elke vindt men eene schaal in millimeters die op het glas zelf ingeslepen is. Nu gieten wij kwik in de eene buis, het geraakt ook gedeeltelijk in de andere en verheft zich van weerszijden tot dezelfde hoogte (zie 81). Daarop gieten wij water in eene van de buizen, bij voorbeeld in A, en wij zien het niveau van het kwik in deze buis door den druk van het water dalen: zoodat, wanneer er evenwicht is, het kwik in de buis B hooger staat, dan in de buis A en wel tot eene hoeveelheid *c d*. Het is dan duidelijk, dat de drukking, uitgeoefend door de kwikkolom *c d*, evenwicht maakt met de drukking van de waterkolom *a b*. Wanneer wij nu de hoogten *a b* en *c d* op de gegradueerde schalen aflezen, zien wij dat de hoogte *c d* 13,6 malen kleiner is dan de hoogte *a b*. En dit bewijst de zoo even uitgesproken stelling; want wij zullen welhaast zien dat kwik 13,6 malen dichter is dan water.

88. **Evenwicht van verschillende vochten, die op elkander rusten.** Er blijft ons voor de voorwaarden van evenwicht der vloeistoffen nog een geval ter beschouwing over, dat namelijk, waar hetzelfde vat vloeistoffen van verschillende dichtheid bevat, bij voorbeeld water en olie. Om evenwicht te hebben is het in dit geval niet voldoende, dat de oppervlakte van ieder der vloeistoffen horizontaal is, *daarenboven moeten de vloeistoffen in dier voege boven elkander liggen, dat zij van boven naar beneden in dichtheid toenemen;* dat wil zeggen, dat onder in het glas het vocht van de grootste dichtheid moet gelegen zijn, daarboven het naastvolgende in dichtheid en zoo vervolgens. Om dit met de proef aan te toonen, neemt men eene nauwe lange flesch (fig. 61), welke men oudtijds de *flesch der vier elementen* noemde, én welken naam men haar nog wel geeft.

In deze flesch bevinden zich water met koolzure potasch verzadigd, gekleurde alcohol, eene vette olie, van minder dichtheid dan alcohol, en kwik. Bij het schudden der flesch schijnt het alsof deze vier stoffen zich onderling vermengen; maar houdt men deze recht op en stil, dan ziet men dat dadelijk het kwik zich op den bodem der flesch neerzet, het water hierboven, daarna de alcohol, die weer minder dichtheid heeft dan water, en eindelijk de vette olie, welke van de vier genoemde stoffen de kleinste dichtheid heeft.

Fig. 68. Elementen-glas.

Een gevolg van deze wet is het verschijnsel dat zoet water, hetwelk minder dichtheid heeft dan zout water, bij de riviermonden vrij ver boven het zeewater in zee drijft. Ook dat de room, die minder dicht dan melk is, zich langzamerhand van deze afscheidt en op haar plaatst.

TOEPASSINGEN VAN HET EVENWICHT DER DRUPVORMIGE VLOEISTOFFEN.

89. Nivelleer-werktuig. Bij een groot aantal werken, bij voorbeeld bij het graven van afwateringen en kanalen, bij het leggen van spoorwegen, bij het plaveien van straten, is het noodig het verschil in waterpas van twee plaatsen te bepalen, die op min of meer grooten afstand van elkander gelegen zijn. Het eenvoudigste toestel, dat men hiertoe gebruikt, is het *nivelleer-werktuig* of *fleschjes-waterpas*. Het bestaat uit eene lange blikken of koperen buis, waarvan de uiteinden regthoekig omgebogen en voorzien zijn van 2 glazen buizen. Om met dit instrument te kunnen werken, plaatst men het horizontaal op een voet met drie pooten, zoo als wij zien in fig. 69; en giet men er water in, totdat deze

vloeistof in de beide glazen buizen stijgt. Volgens de wet van evenwicht in communicerende vaten (zie 81) staat het vocht in beide buizen even hoog, dat wil zeggen, de beide oppervlakten van het water liggen in hetzelfde horizontale vlak. Indien nu de waarnemer langs de beide oppervlakten ziet, zal zijne gezichtslijn de lijn zijn van het schijnbaar waterpas op de plaats van waarneming.

Om nu nivelleringen te doen, dat is, om te bepalen hoe veel hooger eene plaats ligt dan eene andere, plaatst men zich met het werktuig op de eene plaats, zoo als de teekening aantoont, terwijl op de andere een helper een meetstok of *nivelleer-lat* vasthoudt: zoo noemt men een houten liniaal, welke uit twee stukken bestaat. Een van deze twee staat op den grond en langs dit kan in sponningen het tweede stuk schuiven, dat bovenaan een vierkant blikken bordje draagt. Dit bordje is in vier gelijke deelen verdeeld door twee lijnen, de eene horizontaal, de andere vertikaal, die elkander in het midden snijden; dit snijpunt is het *mikpunt* of *vizier:* hiernaar ziet de waarnemer. Naarmate het mikpunt te hoog of te laag gelegen is, geeft de waarnemer een teeken aan zijn helper

Fig. 69. Nivelleer-werktuig.

om dit te doen dalen of te doen rijzen, zoolang tot dat het juist in ééne lijn ligt met het water-oppervlak in de beide buizen. De helper leest dan op de liniaal, die in centimeters is afgedeeld, af, hoe hoog het mikpunt boven den

rond gelegen is; indien deze hoogte grooter is dan die van et waterpas, vindt men, door de hoogte van het waterpas an die van het mikpunt af te trekken, hoeveel lager de rond, waarop het mikpunt staat, gelegen is dan de rond, waarop het waterpas staat. In het omgekeerde ge-al, waar de plaats van het mikpunt hooger gelegen is, moet ıen de hoogte van het mikpunt aftrekken van die van het raterpas.

90. **Nivelleer-werktuig met luchtbel.** Om nivelleringen te doen, ;ebruikt men ook wel een ander werktuig, dat nauwkeu-iger uitkomsten geeft dan het vorige, het is *het nivelleer-ıerktuig met de luchtbel.* Het bestaat uit eene aan beide einden ;esloten glazen buis, die in het midden zeer flauw gebogen s. Deze buis is met water of alcohol gevuld en men heeft ır een luchtbelletje in gelaten, dat zich, daar het ligter is lan de vloeistof, steeds in het hoogste gedeelte en dus, wan-ıeer men de buis horizontaal houdt met de kromming naar ɔoven, in deze kromming plaatst. Deze buis is omgeven door een koperen koker, die alleen het gebogen gedeelte ɔloot laat (fig. 70). Eindelijk wordt deze buis op eene ko-

Fig. 70. Nivelleer-werktuig met luchtbel.

peren plaat bevestigd van gelijke lengte en die zoodanig vlak geslepen is, dat, wanneer men nu dit instrument plaatst op een volkomen horizontaal vlak, de luchtbel zich juist in het midden van de buis vertoont tusschen twee boog-jes, die aan den koperen koker vastgemaakt zijn, zoo als wij in de figuur zien. Is echter het vlak, waarop het in-strument rust, een weinig hellend, dan beweegt zich de luchtbel naar het hoogste gedeelte. Wij hebben hi-

471765

een gemakkelijk middel om te zien of een meubel, een boekenplank of eenig ander ligchaam horizontaal is of niet. Daartoe behoeft men slechts het werktuig op het voorwerp te plaatsen, waarvan men weten wil of het horizontaal gelegen is. Wil men met dit werktuig waterpassingen op het veld doen, dan verbindt men het aan een kijker, waarvan het de horizontale ligging doet kennen, en die wederom dient om naar een mikpunt te zien, even als wij in (89) besproken hebben.

91. **Fonteinen.** De fonteinen, die wij op vele buitenplaatsen en wandelingen zien, zijn eene toepassing van het streven der vloeistoffen om zich steeds waterpas te plaatsen. Het water, dat men in een straal zich opwaarts ziet bewegen, komt altijd van eene plaats die hooger gelegen is dan de

Fig. 71. Fontein.

straal, en door dat het zich waterpas tracht te stellen springt het op. In fig. 71 zien wij dit voorgesteld. Op den heuvel, dien wij links op de teekening zien, is een gevulde waterbak: onder aan dezen bak is eene buis bevestigd, *die zich naar het* midden van eene kom begeeft en daar

rechthoekig omgebogen is. Daar springt het water op, voortgeperst door de drukking van een kolom water van eene hoogte, gelijk aan het verschil van niveau van den waterbak en de kom.

Evenwel springt het water nimmer zoo hoog op, dat het het waterpas in den waterbak bereikt; omdat de waterstraal drie verschillende weerstanden ontmoet: 1°. de wrijving van het water tegen de wanden van de geleidingsbuis; 2°. den weerstand der lucht; 3°. den schok, welken de vochtmoleculen, die van den top des straals terugvallen, uitoefenen op de moleculen die opstijgen.

92. **Waterstroomen, bronnen, putten.** Het streven der vloeistoffen om waterpas te zijn is ook nog reden van de *stroming* van het water, zoowel op de oppervlakte van den grond als in het binnenste der aarde. Zoodra de waterdeeltjes niet meer waterpas zijn, sleept de zwaartekracht, die hen steeds tracht te doen dalen, hen dadelijk van de hoogste naar de laagste punten. Hierdoor bereikt het water, dat, hetzij door regen, hetzij door het smelten der sneeuw, op de aarde uitgestort wordt, de valleijen, waar het beken, rivieren en stroomen doet ontstaan, die in hun bed vloeijen als op een hellend vlak, tot dat zij zich in zee storten. Eene zeer geringe helling doet reeds het water stroomen. De gemiddelde waterstand van de Seine te Parijs is slechts 32 meters boven den waterspiegel van den Oceaan. De lengte van haren loop tusschen deze beide punten is omstreeks 360 kilometers (mijlen), hetgeen eene helling aantoont van nog niet een tiende millimeter op den meter: het water van deze rivier heeft dan ook bijna zeven dagen noodig om dezen afstand te doorloopen.

Al het gevallen regenwater loopt niet op de oppervlakte van den grond weg: een gedeelte dringt in den bodem en doet kleine onderaardsche waterloopen ontstaan, welke men *bronnen* noemt. Om het water van deze bronnen op te sporen boort men *putten*.

93. **Artesische bronnen of putten.** Wanneer de bron, die eene put voedt, van eene plaats komt die veel hooger ligt dan de plaats, waar de put geboord is, kan het gebeuren, dat het water zich in den put boven den rand tracht te verheffen: *dit heeft plaats bij de Artesische putten*, zoo genaaamd

naar de voormalige fransche provincie Artois, waar men ze het eerst geboord heeft.

Deze putten zijn zeer nauwe met de grondboor geboorde gaten. De diepte is op verschillende plaatsen zeer verschillend. Om hunne werking goed te begrijpen moet men weten, dat de aardkorst bestaat uit zeer verschillende lagen, waarvan sommige door het water kunnen doordrongen worden, gelijk de zand- en kiezellagen; andere weer niet, als de klei- of leemlagen. Dit nemen wij aan en stellen ons voor dat H (fig. 72) eene vallei is, onder welke zich eene on-

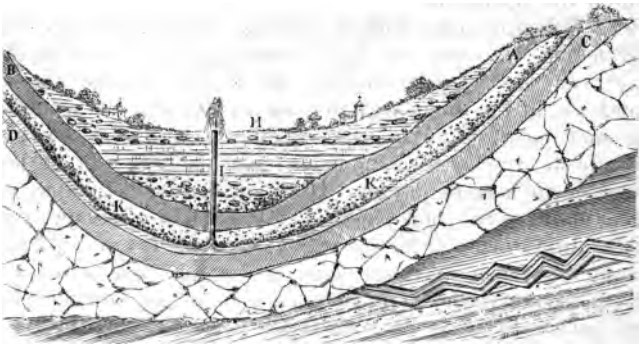


Fig. 72. Artesische bron.

doordringbare laag A B bevindt; hieronder bevindt zich eene doordringbare laag K, en eindelijk onder deze weer eene ondoordringbare laag C D. De regen, die op de aardoppervlakte valt tusschen de punten A en C, of tusschen de punten B en D, dringt door in de laag K; beneden verzamelt dit water zich, terwijl het geen uitweg vindt om weg te stroomen, daar het door twee ondoordringbare lagen wordt terug gehouden. Zoo men nu door den grond een gat I boort, dat, door de eerste laag gaande, de plaats bereikt, waar het water verzameld is, dan stijgt dit water in het gat, daar het zich waterpas tracht te stellen, en springt boven den grond uit tot eene hoogte, des te grooter naarmate het door eene doordringbare laag in verbinding staat *met hooger gelegen* water: van hier de springende bronnen.

Het water, dat de artesische bronnen voedt, komt dikwijls van zeer verre. Het water van de te Grenelle, in Parijs, geboorde put, komt van Champagne, eene streek die veel hooger dan Parijs gelegen is. Deze put is 548 meters diep en geeft 3000 kan water per minuut. Hij is een van de overvloedigste en diepste, die men tot nog toe geboord heeft. Het water, dat hij opgeeft, heeft het geheele jaar door eene warmte van 27°, een verschijnsel waarvan wij later de oorzaak zullen leeren kennen.

HOOFDSTUK III.

DRUKKING OP ONDERGEDOMPELDE LIGCHAMEN, SPECIFIEK GEWICHT, AREOMETERS.

94. **Drukking op ondergedompelde ligchamen.** Wanneer een vast ligchaam in een vocht gedompeld wordt, is het duidelijk, dat de drukking die dit vocht tegen de wanden van het vat, dat het inhoudt, uitoefent, ook werkt op de oppervlakte van het ondergedompelde ligchaam, omdat men weet, dat bij de vloeistoffen de drukking zich in alle richtingen voortplant (zie 76). Men kan gemakkelijk waarnemen, dat de drukkingen, welke op een ondergedompeld ligchaam werken, zich niet alleen wederkeerig opheffen, maar eene resultante hebben, die van beneden naar boven werkt en steeds het ligchaam tracht op te heffen.

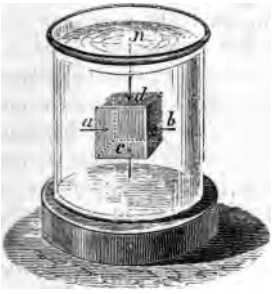


Fig. 73. Drukking op ondergedompelde ligchamen.

Om dit aan te toonen, stellen wij dat eenig ligchaam, een cubus bij voorbeeld, gedompeld wordt in een vat met water, fig. 73. Indien wij eerst de zijdelingsche of horizontale drukkingen beschouwen, die op de tegenovergestelde vlakken *a* en *b* uitgeoefend worden, dan ziet men dat zij gelijk zijn in intensiteit, omdat *zij op gelijke diepten* werken (zie 78); en verder dat

zij in tegengestelden zin werken, dat zij dus evenwicht met elkander maken, dat zij dus alleen den cubus trachten ineen te drukkken maar geenszins hem te verplaatsen.

Wat de vertikale drukkingen aangaat, die op de vlakken *d* en *c* werken, het is gemakkelijk in te zien, dat deze niet gelijk zijn. Het bovenoppervlak *d* heeft van boven naar beneden eene drukking te weerstaan gelijk aan het gewicht van eene kolom water, die tot basis heeft het vlak *d* en tot hoogte den afstand *d n* (zie 80), terwijl het ondervlak *c* eene drukking ondervindt van beneden naar boven gelijk aan eene kolom water, tot basis hebbende dit vlak *c* en tot hoogte *c n* (zie 79). En nu is deze laatste drukking juist zoóveel meer dan de eerste, als het gewicht water, dat door den cubus verplaatst wordt.

Wij komen dus door redenering tot deze merkwaardige stelling, dat *elk in eene vloeistof gedompeld ligchaam opgeheven wordt met eene drukking, die gelijk is aan het gewicht van het volume vloeistof, door het ligchaam verplaatst.* Wij zullen zien, hoe wij deze stelling met de proef bewijzen.

95. **Wet van Archimedes. Hydrostatische balans.** Daar wij gezien hebben, dat elk in eene vloeistof gedompeld ligchaam eene drukking van beneden naar boven ondergaat, gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof, is het duidelijk, dat dit ligchaam een gedeelte van zijn gewicht moet verliezen, dat het minder moet wegen, dan in de lucht gewogen, en dat de vermindering in gewicht, die het ondergaat, juist gelijk moet zijn aan het gewicht der vloeistof, die verplaatst wordt. Men kan de hierboven genoemde stelling ook onder de volgende woorden brengen: *ieder in eene vloeistof ingedompeld ligchaam verliest in gewicht zooveel als de vloeistof weegt, die het verplaatst.* Bij voorbeeld een ligchaam, dat in de lucht gewogen 18 kilogrammen weegt en dat in het water gedompeld 3 kubieke palmen (liters) water verplaatst, d. i. 3 kilogrammen, weegt in die vloeistof slechts 18 min 3, dat is: 15 kilogrammen.

Deze wet, merkwaardig door hare talrijke toepassingen, kan men bewijzen door de *hydrostatische balans.* Zoo noemt men eene balans, die van de gewone balansen slechts daarin verschilt, dat bij deze de eene schaal voorzien is van een klein *haakje, waaraan* men het te wegen voorwerp kan ophangen,

en dat men den balk naar willekeur kan doen rijzen of dalen. Om deze reden is de kolom *d* (fig 74), die tot voet bij deze balans dient, hol en binnen deze kan de stang *c*, die den balk draagt, glijden. Met de eene hand doet men deze stang en te gelijker tijd den balk rijzen of dalen, zooveel men voor de proef noodig heeft, en met de andere bevestigt men haar stevig door eene klemschroef *n* op de verlangde hoogte.

Heeft men nu den balk wat hooger doen rijzen dan onze figuur doet zien, dan hangt men onder een der schalen een hollen koperen cylinder *b*, en daaronder eenen tweeden massiven cylinder *a*, in volume volkomen gelijk aan den inhoud van den eersten; nu brengt men gewicht in de andere schaal, zoolang tot men evenwicht maakt met de beide cylinders; dit

Fig. 74. Hydrostatische balans, dienende om de wet van Archimedes te bewijzen.

heeft dan plaats als de balk juist horizontaal is. Als men nu den cylinder *b* met *water vult*, wordt het evenwicht verbroken,

maar zoo men te gelijker tijd de schroef *n* losschroeft en de stang *c* met den balk doet zakken, zoodat de cylinder *a* geheel in een vat water ingedompeld is, dan ziet men dat het evenwicht zich herstelt. Door zijne indompeling onder water moet dus de cylinder *a* een gedeelte van zijn gewicht verliezen, juist gelijk aan het gewicht van het water, dat in den cylinder *b* gegoten is, en bij gevolg gelijk aan het gewicht water dat hij verplaatst, omdat het volume van den ingedompelden cylinder juist gelijk is aan den inhoud van den hollen.

De beroemde wet, dat elk in eene vloeistof gedompeld ligchaam zooveel aan gewicht verliest als de vloeistof weegt, die door het ligchaam verplaatst wordt, is bekend onder den naam van *wet van Archimedes*, omdat zij gevonden werd door Archimedes, den broemden meetkundige, die 212 jaar vóór onze jaartelling te Syracuse stierf.

Men verhaalt, dat hij deze ontdekking deed, naar aanleiding van een vraagstuk, dat hem door Hiero, tyran van Syracuse, gesteld was. Dezè vorst, aan Jupiter een gouden kroon willende aanbieden, had aan een goudsmid 10 pond goud gegeven, om deze kroon te vervaardigen. Deze woog afgewerkt dan ook 10 pond, maar Hiero, vermoedende, dat de goudsmid zich een gedeelte van het goud had toegeëigend en dit vervangen door zilver, vroeg aan Archimedes een middel om dit bedrog op te sporen, zonder echter aan de kroon iets te wagen, dat de schoonheid van het werk zou kunnen schaden.

Archimedes geheel vervuld met het vraagstuk, dat hem door Hiero was opgegeven, merkte in het bad zijnde op, dat hij in het water zijne ledematen vrij wat gemakkelijker kon opheffen dan in de lucht. Deze waarneming, hoe eenvoudig ook, gaf hem licht; hij leidde er de hierboven bewezen wet uit af, eene wet, die, zoo als wij straks (zie 96), zullen zien, hem het middel aan de hand deed om te ontdekken hoeveel het goud, het zilver en het mengsel, waaruit de kroon bestond, wogen met betrekking tot water. Wist hij dit, dan kon eene eenvoudige berekening hem leeren uit hoeveel goud en zilver de kroon bestond. Archimedes, verhaalt men verder, was zoo verheugd over deze ontdekking, dat hij dadelijk uit het bad sprong en naar huis liep, door

de straten van Syracuse roepende: *Ik heb het gevonden! Ik heb het gevonden!*

Wij allen hebben wel eens dezelfde opmerking als Archimedes gemaakt en waargenomen hoe ligt onze ledematen ons voorkomen, als wij ons in het bad bevinden, en hoe zwaar zij ons voorkomen, wanneer wij ze boven het water opheffen. Ook zoo wij bijna geheel onder water met bloote voeten op het zeestrand loopen, beleedigen de steentjes en scherven, die den grond bedekken, de voeten niet; maar zoo wij eens uit het water onze wandeling op den zandigen oever voortzetten, merken wij, dat deze steentjes, vóór een oogenblik nog voor ons niet hinderlijk, dadelijk eene hevige pijn aan de voeten veroorzaken. De reden hiervan is, dat in het water het ligchaam gedeeltelijk geligt wordt, terwijl buiten het water dit met al zijn gewicht de voetzool tegen den grond drukt.

96. **Evenwicht van ingedompelde en drijvende ligchamen.** Wordt een ligchaam in eene vloeistof gedompeld, dan kunnen zich drie gevallen voordoen: het kan van gelijke dichtheid zijn als deze vloeistof, dat wil zeggen, bij gelijk volume evenveel wegen; of wel het kan eene grootere dichtheid hebben, en dan weegt het meer; of eindelijk het kan eene kleinere dichtheid hebben en in dit geval weegt het minder dan de vloeistof.

1°. Indien het ingedompelde ligchaam van gelijke dichtheid is als de vloeistof, dan is het gewicht van de verplaatste vloeistof gelijk aan het gewicht van het ligchaam. Uit de wet van Archimedes volgt, dat de druk van beneden naar boven om het ligchaam op te heffen gelijk is aan de kracht, waarmede de zwaarte het tracht te doen dalen: er is dus evenwicht tusschen deze beide krachten en bij gevolg blijft het ligchaam zwevende in de vloeistof. Dit neemt men bij visschen waar, die, van gelijke dichtheid als het water zijnde, zich daarin stil kunnen houden zonder te rijzen of te dalen.

2°. Zoo het ingedompelde ligchaam eene grootere dichtheid heeft dan de vloeistof, valt het naar beneden; want alsdan is zijn gewicht overwegend over den druk van beneden naar boven. Dit heeft plaats bij een steen, of een metaalmassa, die men in water werpt.

3°. Eindelijk zoo het ingedompelde ligchaam eene kleinere dichtheid heeft *dan de vloeistof*, die het omgeeft, behoudt de

druk van beneden naar boven de overhand en het ligchaam stijgt dan in het water, tot dat het een gewicht aan water verplaatst gelijk aan zijn eigen gewicht. Men zegt dan dat het *drijft*. Kurk, was, hout en alle ligchamen ligter dan water drijven op zijne oppervlakte.

Een ligchaam, dat drijft in deze vloeistof, kan zinken in gene: daarvoor is slechts noodig dat het eene dichtheid heeft kleiner dan de eerste en grooter dan de tweede. Brengt men bij voorbeeld een ei in gewoon water, het zinkt; omdat het bij gelijk volume meer weegt: maar dompelt men het in sterken pekel, die dichter is dan zuiver water, dan drijft het. Een stuk eikenhout drijft op water, maar zinkt in olie, die minder dicht is. Een stuk ijzer drijft op kwik, maar zinkt dadelijk in water.

Evenwel kan toch een ligchaam, al is het dichter dan eene vloeistof, op deze vloeistof drijven. Men behoeft daartoe slechts aan dit ligchaam zoodanigen vorm te geven, dat het een gewicht aan vloeistof verplaatst, dat grooter is dat het zijne. Porcelein bij voorbeeld is zwaarder dan water en toch drijft een porceleinen kopje op water: dit komt door zijnen concaven (hollen) vorm, waaronder het een gewicht aan water verplaatst gelijk aan het zijne, hoewel het slechts gedeeltelijk ingedompeld is. Om dezelfde reden ook drijven de ijzeren schepen, tegenwoordig zooveel in gebruik, ligt op de oppervlakte van rivieren en zeeën.

97. **Ludion of cartesiaansch duikertje.** In de physische kabinetten vindt men een klein toestel, waaraan men den naam geeft van *ludion* of *cartesiaansch duikertje*, waarmede men naar willekeur de verschijnselen van zweven, zinken en drijven van een vast ligchaam in eene vloeistof kan doen zien. Het is zamegesteld uit een lang en naauw glazen vat, waarboven een koperen cylinder A bevestigd is (zie fig. 75). In dezen cylinder bevindt zich een zuiger, die met de hand op en neder kan bewogen worden en welke het vat hermetisch sluit. Dit is nagenoeg vol water en in deze vloeistof zien wij een ligt ligchaam, bij voorbeeld een klein vischje dat hol is en van glas of émail gemaakt. Boven aan dit vischje is een glazen bolletje *m*, dat lucht en water bevat en van onderen een klein gaatje heeft *o*, waardoor het water in het *bolletje kan dringen* of er uitgaan, al naarmate de in dit

bolletje zich bevindende lucht minder of meer samengeperst is. Bij de gewone drukking drijft het bolletje op de oppervlakte van het water; was dit slechts een weinig zwaarder, het zoude geheel ondergedompeld worden en op den bodem van het vat vallen. Bij gevolg, zoo men met de hand den zuiger in den cylinder een weinig naar beneden drukt, wordt de lucht boven het water samengedrukt, deze drukking plant zich voort op het water in het vat en verder op het water en de lucht, die zich in het bolletje bevinden, door het kleine gaatje bij *o*. Daar de zich hier bevindende lucht aldus in volume vermindert, kan een weinig water binnentreden, bij gevolg wordt het gewicht van het bolletje grooter en het valt met het voorwerp dat het droeg. Ligt men den zuiger op, dan houdt de drukking op, de in het bolletje samengeperste lucht zet zich uit, drijft het water dat binnen getreden was weg, en het ingedompelde ligchaam ligter wordende stijgt weêr op.

Fig. 75.
Ludion, cartesiaansch duikertje.

98. **Zwemblaas der visschen.** Men vindt bij een groot aantal visschen eene blaas vol lucht, welke men *zwemblaas* noemt en welke gelegen is boven in den buik onder den ruggegraat. Door middel van deze blaas kunnen de visschen in het water op alle diepten rijzen of dalen en er ook zwevende blijven. Drukken zij door spierwerking deze blaas te samen, dan verplaatsen zij minder water en hun gewicht wordt meer dan het water, dat zij verplaatsen, en bij gevolg dalen zij. Houden zij op met de blaas samen te drukken, zet deze zich dus uit door de veerkracht der lucht, welke *zij bevat, dan* neemt de visch, zonder in ge-

wicht toe te nemen, in volume toe, en hij rijst in het water.

99. **Zwemmen.** Het menschelijk ligchaam is ligter dan water en kan dien ten gevolge van nature op de oppervlakte dier vloeistof drijven en nog beter op zeewater, dat dichter is dan zoet water. Hieruit volgt, dat voor iemand, die zwemt of in het water gevallen is, de moeijelijkheid niet zoo zeer daarin bestaat, om zich aan de oppervlakte van het water te houden, als wel om het hoofd buiten de vloeistof te houden om vrij te kunnen ademhalen. Bij den mensch heeft het hoofd een groot gewicht ten opzigte van de onderste ledematen, hierdoor zal dit het eerst onderdompelen, en komt er dan water in de borst, dan wordt het ligchaam zwaarder dan de vloeistof die het verplaatst, en hieruit volgt het zinken. Ook is het zwemmen den mensch niet van nature eigen, maar eene kunst, waarin men zich moet oefenen. Bij de viervoetige dieren echter weegt het hoofd minder dan het achterdeel des ligchaams en kan dus zonder krachtsinspanning boven water blijven; hierdoor zwemmen dan ook deze dieren van nature.

Indien iemand, die, niet kunnende zwemmen, in het water viel, genoeg tegenwoordigheid van geest behield om zich op den rug te keeren, zoodat de mond boven water bleef, zou hij vrij kunnen ademhalen en zoo kunnen afwachten tot men hulp bracht. Maar in plaats hiervan doet men doorgaans pogingen om de armen buiten het water te steken om eenig

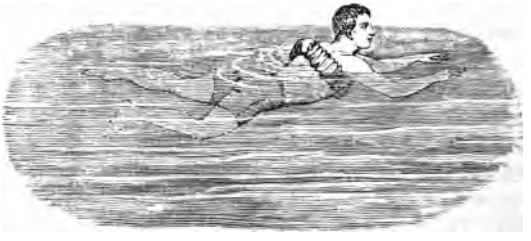


Fig. 76. Toepassing van de wet van Archimedes.

steunpunt aan te grijpen, waaraan men zich zou kunnen vasthouden. Juist deze pogingen zijn noodlottig; want daar de armen nu niet meer in gewicht verliezen het gewicht van het water, dat zij verplaatsen, voegt heel hun gewicht zich nu *bij dat van het hoofd* en doet dit onder dompelen.

Bij gelijk gewicht zwemmen dikke menschen gemakkelijker dan magere, daar zij meer water verplaatsen.. Om deze reden. bevestigt men met lucht gevulde blazen of kurken ringen aan het ligchaam van hen die moeten leeren zwemmen (zie fig 76); want dan verplaatsen zij, zonder aanmerkelijk in gewicht toe te nemen, veel meer water, en drijven zij dus, zoo als wij gezien hebben, zoo veel te ligter.

Vele soorten van vogelen, als eenden, ganzen, zwanen, drijven zonder moeite op de oppervlakte van het water. Dit zijn zij aan eene dikke laag dons verschuldigd, die ligt en ondoordringbaar is, en het onderste gedeelte van hun ligchaam overdekt, zoodat zij, bij eene geringe indompeling, eene massa water verplaatsen, in gewicht gelijk aan het gewicht van hun ligchaam.

SOORTELIJK GEWICHT, AREOMETER (VOCHTWEGER).

100. **Soortelijk gewicht.** De dagelijksche ondervinding leert ons dat verschillende ligchamen, bij gelijke grootte, zeer verschillende gewichten bezitten. Elk een heeft, bij voorbeeld, opgemerkt dat goud zwaarder weegt dan zilver, lood zwaarder dan ijzer, steenen zwaarder dan hout. Om de verschillende ligchamen bij gelijk volume onder elkander te vergelijken ten opzichte van hun gewicht, heeft men als term van vergelijking, als *éénheid*, het gewicht van het water genomen, eene stof die overal te verkrijgen en gemakkelijk tot de grootst mogelijke zuiverheid te brengen is, eene voorwaarde die noodzakelijk opgevolgd moet worden; want het gewicht van eene gegevene hoeveelheid water, bijv. een Ned. kan, verschilt naarmate der stoffen, die er in opgelost zijn. Verder verschilt het gegewicht ook, zooals wij later zullen zien, als de temperatuur hooger of lager is, en men heeft hierom eene bepaalde temperatuur moeten aannemen. Men heeft alzoo als *éénheid* genomen het gewicht van *gedestilleerd water*, dat volstrekt zuiver is, en dat nog wel *bij eene temperatuur van vier graden.* Wat de reden is die de natuurkundigen heeft bewogen juist deze temperatuur aan te nemen, zullen wij later behandelen.

Dit vastgesteld zijnde noemt men het *soortelijk gewicht* van een ligchaam zijn gewicht in betrekking tot dat van water bij gelijk volume; *of hetgeen* hetzelfde is, het getal dat uit-

drukt hoeveel het ligchaam in vergelijking van water weegt. Bij voorbeeld, wanneér men zegt dat het soortelijk gewicht van goud 19 is, dat van lood 11, dan beteekent dit, dat, bij even groot volume, het eerste dezer metalen 19 malen en het tweede 11 malen meer weegt dan water.

Wij zullen nu overgaan tot de beschouwing van verschillende wegen, die geleid hebben tot de kennis van het soortelijk gewicht der vaste en vloeibare ligchamen, de beschouwing van het soortelijk gewicht der gasvormige ligchamen tot later uitstellende. Laat ons dit echter hier reeds opmerken, dat, terwijl het soortelijk gewicht der vaste en vloeibare ligchamen bepaald wordt in betrekking tot water, dat der gassen bepaald wordt in betrekking tot de lucht.

101. **Bepaling van het soortelijk gewicht der vaste ligchamen.**

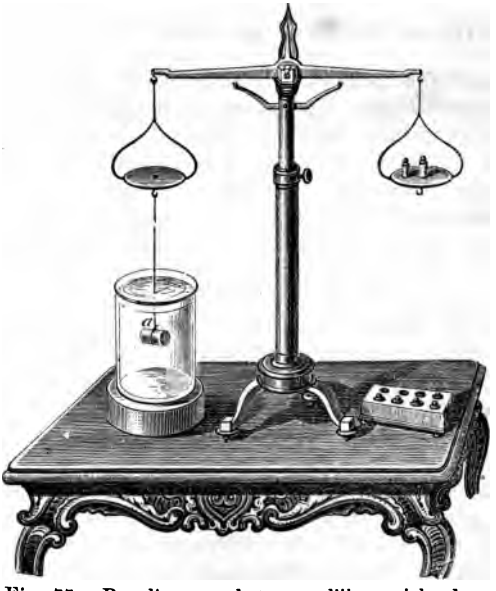


Fig. 77, Bepaling van het soortelijk gewicht door middel van de hydrostatische balans.

Daar het soortelijk gewicht van een ligchaam niets anders is *dan de uitdrukking* van het getal, dat aanwijst hoeveel het

ligchaam weegt in betrekking tot water, bij gelijk volume, zoo is het duidelijk dat men, om dit getal te vinden, slechts het gewicht van het ligchaam te bepalen heeft, daarna dat van een gelijk volume water, en eindelijk te zien in welke verhouding het eerste tot het laatste staat. Men komt tot deze bepaling op drieërlei wijze: òf door middel der hydrostatische balans, òf door middel van den areometer (vochtweger), òf door middel van een fleschje.

1°. *Onderzoek met de hydrostatische balans.* Om het soortelijk gewicht van een vast ligchaam door middel van de hydrostatische balans te leeren kennen, hangt men dit met een dunnen draad aan den haak der eene schaal en weegt het in de lucht, door op de andere schaal zooveel gewicht te plaatsen, dat er evenwicht is verkregen. Veronderstel dat het ligchaam, waarvan men het soortelijk gewicht zoekt, een stukje ijzer is en het gewicht gevonden is gelijk 39 wichtjes. Men laat het stukje ijzer aan de schaal hangen, maar hangt het in een vat dat gedestilleerd water bevat en weegt het stukje, zoo ondergedompeld, op nieuw (zie fig. 77). Men zal alsdan vinden dat het minder weegt dan de eerste maal, bijv. 34 wichtjes; dit moet zoo zijn, omdat, volgens de stelling van Archimedes het thans zooveel aan gewicht verliest als het water verplaatst. Bij gevolg zoo men 34 van 39 aftrekt, blijft er 5 over, en dit vertegenwoordigt het gewicht van het verplaatste water; met andere woorden: het is het gewicht van het water, dat evenveel plaats beslaat als het ijzer. Er schiet dus niet anders over dan te zoeken hoeveel maal het gewicht van het ijzer, 39 wigtjes, grooter is dan het gewicht van een even groot volume water, 5 wichtjes, hetwelk men verkrijgt door 39 door 5 te deelen. Men vindt voor quotient 7,8, dat dus het soortelijk gewicht van ijzer is en uitdrukt dat bij gelijk volume deze stof zeven en acht tiende maal zwaarder is dan water.

2°. *Onderzoek met den areometer of vochtweger van Nicholson.* Nicholson, engelsch natuurkundige, heeft een klein drijftoestel uitgevonden dat, even als de hydrostatische balans, dient om het soortelijk gewicht der vaste ligchamen te bepalen. Dit toestel bekend onder den naam van *areometer van Nicholson*, bestaat uit een hollen cylinder van blik, die van onderen *een met lood gevulden* kegel *d* (fig. 78) draagt. Deze

laatste heeft ten doel om het toestel zoodanig te belasten, dat zijn zwaartepunt laag valt, hetwelk een noodzakelijke voorwaarde is, zal het toestel in water recht op blijven staan en niet zwaaijen. Van boven heeft het toestel een staafje *c* en een schaaltje of schoteltje *a*, dat bestemd is om er de gewichten in te leggen. Eindelijk is op het staafje bij *c* een streepje gezet, dat aanwijzen moet of het toestel even diep als de vorige maal onderdompelt. Ten slotte moeten wij nog opmerken, dat het gewicht van het toestel zoo geregeld moet zijn, dat dit, wanneer het zonder gewicht belast in het water gedompeld wordt, er slechts voor nagenoeg drie vierde van zijne hoogte moet inzakken, zooals fig. 78 aantoont.

Om nu met den areometer van Nicholson het specifiek gewicht van een ligchaam te bepalen, begint men met het ligchaam door middel van den areometer te wegen, even als men het met een gewone balans zoude doen. Ten dien einde dompelt men den areometer in het water, vervolgens zet men zoolang gewichtjes op het schaaltje *a*, tot dat het instrument

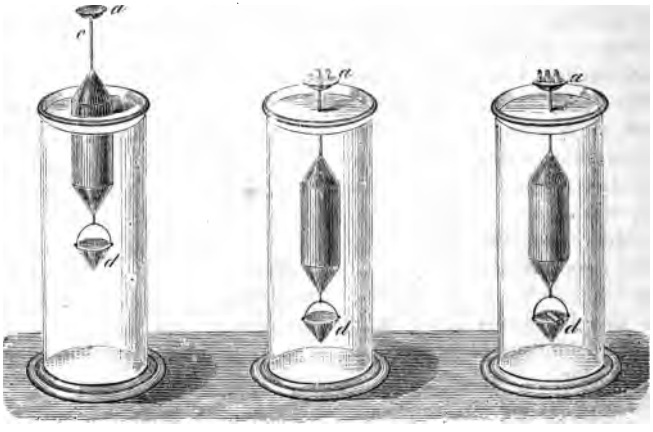


Fig. 78. Fig. 79. Fig. 80.
Bepaling van het soortelijk gewicht door middel van den areometer van Nicholson.

tot het punt *c* in het water gedompeld is, zooals fig. 79 aantoont. *Veronderstel* dat daartoe 75 wichtjes noodig zijn; ver-

volgens neemt men de gewichtjes er af en legt in de plaats daarvan het ligchaam, waarvan men het gewicht wenscht te weten; men zorge echter, niet zooveel van het te onderzoeken ligchaam te nemen, dat de geheele areometer onderdompelt. Nu plaatst men langzaam weder zooveel wichtjes op het schaaltje, alzoo naast het ligchaam, dat de areometer juist op het punt *c* in aanraking met de oppervlakte van het water kome. Veronderstel weder dat men hiertoe 15 wichtjes noodig heeft; daar men nu, tijdens het ligchaam op het schaaltje ligt, slechts 15 wichtjes noodig heeft en vroeger daarentegen 75 wichtjes noodig had om gelijk verschijnsel te weeg te brengen — alzoo 60 wichtjes meer — besluit men dat het ligchaam 60 wichtjes weegt. Dit is dus het gewicht, in de lucht gewogen, van het ligchaam, hetzelfde dat men door middel der balans zoude gevonden hebben.

Er schiet nu over, te vinden hoeveel een gelijk volume water weegt. Hiervoor haalt men den areometer uit het water en brengt het ligchaam, dat men gewogen heeft, van het schaaltje *a* op de vlakte *d*, die gevormd wordt door den aan het einde van den toestel zich bevindenden omgekeerden kegel; zooals fig. 80 aantoont.

Dompelt men den areometer nu weder in het water, dan bemerkt men, dat hij niet zoo diep zinkt. Dit wordt veroorzaakt doordien het ligchaam, dat men op de plaats *d* gebracht heeft, thans onder water gedompeld is en dus zooveel van zijn gewicht verliest als het water verplaatst. Bij gevolg wijst het gewicht, dat noodig is om den areometer weder tot *c* te doen zakken, het gewicht aan van het verplaatste water; stel in ons geval dat dit 10 wichtjes is; er schiet nu niets meer over dan 60 wichtjes, het gewicht van het ligchaam, door 10 wichtjes, het gewicht van het water, te deelen; het quotient is 6, het gezochte soortelijk gewicht.

3°. *Onderzoek met het flesschje.* Bij deze wijze van onderzoek maakt men gebruik van een wijdmonds flesch, die door een glazen stop gesloten wordt, of beter nog, door een glazen plaat, die op de opening der flesch geslepen is (zie fig. 81). Men vult de flesch met water, sluit haar met de glazen schijf en draagt zorg, dat er niet een enkele luchtbel in overblijft. Na de flesch zorgvuldig afgeveegd te hebben weegt men haar, terwijl *men op dezelfde schaal* het ligchaam *a* plaatst, waarvan

men het soortelijk gewicht wil weten: daarna brengt men het ligchaam in de flesch en weegt op nieuw na nauwkeurig de flesch weer met water gevuld te hebben. Men zal alsdan gewichtsverlies vinden, dat veroorzaakt is door het water dat door het ligchaam uit de flesch gedreven is. Daar nu dit gewichtsverlies niets anders is dan het gewicht van het water, dat door het ligchaam verplaatst is, zoo is het duidelijk, dat men het soortelijk gewicht van het ligchaam vindt, door het gewicht van het ligchaam, op de gewone wijze van wegen gevonden, te deelen door het verlies, dat men gevonden heeft na het ligchaam in de flesch te doen.

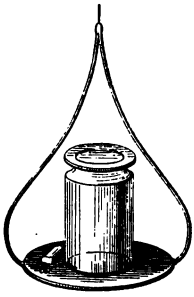


Fig. 81. Onderzoek met het fleschje.

102. **Bepaling van het soortelijk gewicht der vloeistoffen.** Het soortelijk gewicht van vloeistoffen wordt op dezelfde wijze bepaald als dat van vaste ligchamen, te weten: door middel van de hydrostatische balans, van den areometer en van het fleschje.

1°. *Onderzoek door middel van de hydrostatische balans.* Om het soortelijk gewicht van eene vloeistof door middel der hydrostatische balans te vinden, hangt men aan eene der schalen dezer balans een ligchaam, dat onoplosbaar is in water en in het vocht waarvan het soortelijk gewicht gevonden moet worden, bijv. een bol van platina, een metaal, dat door bijna geene vloeistof wordt aangetast. Vervolgens weegt men dezen bol in de lucht, daarna in zuiver water en eindelijk in het vocht gedompeld, waarvan men het soortelijk gewicht zoekt; stel voor ons geval alcohol. Veronderstellen wij dat de platinabol in de lucht 33 wichtjes weegt, in het water 31,5 wichtjes en in den alcohol 31,7 wichtjes. Het verlies aan gewicht in water is dus geweest 33 min 31,5 of 1,5 wichtjes; en hetzelfde verlies in alcohol, 33 min 31,7 of 1,3 wichtjes; dit leert ons dat een volume water even groot als de platinabol 1,5 wichtjes en een even groot volume alcohol 1,3 wichtjes weegt. Bij gevolg om nu het gewicht van alcohol in betrekking tot dat van water, met andere woorden, het soortelijk gewicht te vinden, heeft men niets anders te doen dan te zoeken hoeveel maal het ge-

tal 1,3 het getal 1,5 bevat, hetwelk men verkrijgt door deeling. Men vindt als quotient 0,866; dit is dus het soortelijk gewicht van alcohol, uitdrukkende dat bij gelijk volume het gewicht van alcohol slechts 866 duizendste van dat water is.

2°. *Onderzoek door middel van den areometer van Fahrenheit.* Fahrenheit, duitsch natuuronderzoeker, in het laatst der 17e eeuw te Dantzig geboren, heeft om het soortelijk gewicht van vloeistoffen te bepalen, een areometer uitgedacht, die zijn naam draagt en die veel overeenkomst heeft met dien van Nicholson. Dit instrument, voorgesteld in fig. 82, is uit glas gemaakt en aan het ondereinde bezwaard door een bol, die kwik bevat. De dunne buis is voorzien van een streepje, dat tot uitgangspunt dient.

Men begint, voor dat men proeven er mede wil nemen, met het gewicht van het instrument te bepalen, door het op eene gewone balans te wegen. Veronderstel dat dit gewicht 40 wichtjes zij en dat men het soortelijk gewicht zoekt van olijfolie. Men dompelt eerst den vochtweger in zuiver water,

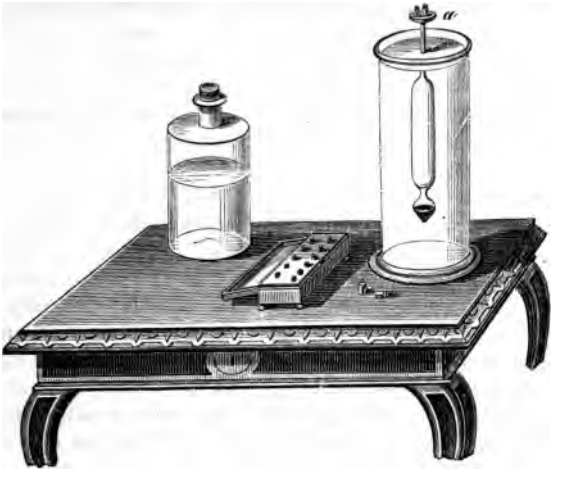


Fig. 82. Vochtweger van Fahrenheit.

waarin hij voor $^2/_3$ of $^3/_4$ ongeveer zijner hoogte moet inzakken, en men is hem hierin behulpzaam door voorzichtig zoo-

veel gewicht op het schaaltje *a* te plaatsen dat het streepje juist het niveau van het water bereikt, zooals de teekening aanduidt. Verondersteld alweder dat hiertoe 6 wichtjes noodig geweest zijn. Deze 6 wichtjes gevoegd bij de 40 wichtjes die de vochtweger weegt, geven 46 wichtjes voor het volume water, dat door het instrument verplaatst is, naar men vroeger (96) gezien heeft dat geene ligchamen op de oppervlakte eener vloeistof drijven, tenzij ze een volume dier vloeistof verplaatsen, dat in gewicht gelijk is aan het gewicht van het ligchaam. Nu haalt men den vochtweger uit het water, droogt hem nauwkeurig af en dompelt hem in een vat gevuld met olijfolie. Ook hierin daalt hij niet tot het streepje, maar eerst dan, wanneer men het schaaltje met zeker gewicht, bijv. 2 wichtjes, bezwaard heeft. Deze twee wichtjes gevoegd bij de 40 wichtjes, die het toestel weegt, vertegenwoordigen een totaal gewicht van 42 wichtjes, dat nu de verplaatste olie weegt. Daar nu het volume olie juist gelijk is aan het volume water, daar de vochtweger telkens evenver ingedompeld geweest is, kan men het specifiek gewicht van olijfolie in betrekking tot het water vinden, door te zoeken hoeveel maal 46 in 42 bevat, is met andere woorden door 42 door 46 te deelen. Men vindt als quotient 0,91, een getal dat het gezochte soortelijk gewicht voorstelt en ons leert dat, als een zeker volume water 100 wichtjes weegt, dit zelfde volume olie slechts 91 wichtjes zal wegen.

3°. *Onderzoek met het fleschje.* Men verkijgt ook nog de soortelijke gewichten van vloeistoffen door middel eener derde wijze van onderzoek, bekend onder den naam van *onderzoek met het fleschje.* Deze wijze bestaat hierin, dat men een klein glazen fleschje weegt voordat het iets bevat; daarna als het gevuld is met water en daarna als het gevuld is met het vocht waarvan men het soortelijk gewicht zoekt, bijv. alcohol. Trekt men nu van de beide laatste uitkomsten het gewicht van het fleschje af, dan heeft men als rest het gewicht van water en dat van alcohol, bij even groot volume.

Zoo men nu het tweede getal door het eerste deelt, dan zal het quotient het gezochte soortelijk gewicht zijn.

Soortelijk gewicht van vaste ligchamen.

Platina	22,07.	Diamant	3,53.
Goud	19,34.	Wit marmer	2,84.
Lood	11,35.	Glas	2,49.
Zilver	10,47.	Ivoor	1,92.
Rood Koper	8,88.	Beukenhout	0,85.
IJzer	7,79.	Populierenhout	0,39.
Zink	7,00.	Kurk	0,24.

Soortelijk gewicht van vloeistoffen.

Kwik	13,60.	Bordeaux wijn	0,99.
Zwavelzuur	1,84.	Olijfolie	0,91.
Melk	1,03.	Terpentijnolie	0,87.
Zeewater	1,03.	Watervrije alcohol	0,79.
Zuiver water	1,00.	Gewone aether	0,71.

Bij de oppervlakkige beschouwing dezer twee tabellen valt het terstond in het oog, dat platina het zwaarste ligchaam der vaste stoffen en kwik dat der vloeibare is.

103. **Het gebruik der soortelijke gewichten.** De bepaling van het soortelijke gewicht heeft niet slechts een zuiver wetenschappelijk doel. De kennis dezer getallen komt in het dagelijksch leven vele malen te stade. De natuurkundigen bijv. bedienen zich er van om de soort van mineralen te herkennen. Eveneens de juweliers om echte edelgesteenten van valsche te onderscheiden. Eindelijk verschaft ons de kennis van het soortelijk gewicht van een ligchaam somtijds een gemakkelijk middel om het gewicht te bepalen, zoo slechts het volume bekend is. Veronderstellen wij, bijv., dat men wil weten hoeveel een kubiek Ned. el lood weegt. Beginnen wij met op te merken dat één kubiek el 1000 kub. palmen bevat. Verder weet men dat een kub. palm water 1 kilogr. weegt. Bij gevolg, zoo wij in plaats van een kub. el lood, een kub. el water hadden, zoude het gewicht zijn 1000 kilogr. Maar volgens bovenstaande tabel weegt het lood 11,35 maal zwaarder dan water, zoodat een kub. el lood 11,35 maal zwaarder dan 1 kub. el water moet wegen, dat is dus 11,35 × 1000 kilogr. gelijk 11350 kilogr. Men ziet dus dat men *het gewicht van een ligchaam in kilogrammen verkrijgt door het* soortelijk *gewicht te vermenigvuldigen met het volume, uitgedrukt in* kub. palmen.

VOCHTWEGER MET VERANDERLIJK VOLUME EN STANDVASTIG GEWICHT.

104. **Vochtweger van Baumé.** Wij hebben gezien, dat de twee drijvende ligchamen, die wij onder de namen van *areometer van Nicholson* en *van Fahrenheit* beschreven, altijd tot hetzelfde punt moeten indompelen en dat bij gevolg het volume van het ingedompeld gedeelte constant is: van hier de naam van *areometers met constant volume*, dien men hun geeft. Daar men hen ook nog met ongelijke gewichten moet bezwaren, al naar de stof, waarvan men het soortelijk gewicht zoekt, om hen tot hetzelfde punt te doen indompelen, heeft men hun den naam van *areometers met veranderlijk gewicht* gegeven.

Maar er bestaat eene andere soort van areometers, die integendeel *veranderlijk volume* en *constant gewicht* hebben. Dat wil zeggen, zij hebben geen vast punt tot waar zij onderdompelen en zijn steeds van hetzefde gewicht. Deze werktuigen, bekend onder den naam van *zoutwegers*, *zuurwegers*, *drankwegers*, alleen bestemd voor vloeistoffen, dienen niet om haar soortelijk gewicht te doen kennen, maar alleen om aan te toonen in hoever eene suiker- of zoutoplossing, een zuur of eenig geestrijk vocht meer of min geconcentreerd is, dat wil zeggen meer of min rijk is aan suiker, aan zout, aan zuur, aan alcohol.

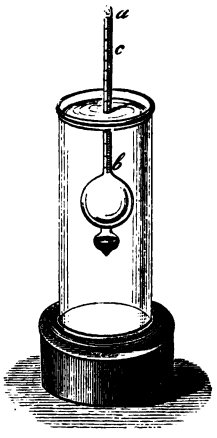


Fig. 83. Zoutweger van Baumé.

Baumé, een Parijsch apotheker, vond zulk een areometer uit in het laatst der vorige eeuw. Dit kleine glazen werktuig wordt in fig. 83 voorgesteld, nagenoeg op een vierde van de ware grootte. Het bestaat uit een steel *a b*, bevestigd aan een met lucht gevulden bol, welke een tweeden maar kleineren bol draagt, die kwik bevat, en dient om den areometer te verzwaren en zoodoende rechtop te houden.

Op den steel bevindt zich eene schaal, die op de volgende wijze [illegible]ordt afgedeeld. Men regelt het gewicht van

het instrument zoodanig, dat wanneer men het in gedestilleerd water dompelt van 4 graden, het nagenoeg zinkt tot aan den top van den steel, en men plaatst het nulpunt op die plaats *a*. Nu maakt men eene oplossing van 85 gewichtsdeelen water en 15 gewichtsdeelen zee-zout (keukenzout), en men dompelt er den areometer in. Deze oplossing is dichter dan zuiver water, de steel is dus niet zoover ondergedompeld, maar slechts tot een punt *c*, waar men 15 plaatst. Nu verdeelt men de ruimte tusschen de punten *a* en *c* in 15 gelijke deelen en zet die verdeeling voort tot het einde van den steel. Deze verdeelingen of graden bevinden zich op een stukje papier, dat zich in de buis bevindt, die den steel vormt.

Aldus samengesteld heeft men in den areometer een *zoutweger* of *zuurweger*. Hij leert ons het soortelijk gewicht der zoute of aangezuurde vloeistoffen niet kennen, noch de hoeveelheden zout of zuur, die in deze vloeistoffen bevat zijn: maar toch wordt hij met voordeel in de nijverheid en in de huishouding gebruikt. Bij voorbeeld bij de stroop-fabricatie heeft de ondervinding geleerd dat de areometer van Baumé, in koude goed bereide stroop van een genoegzaam suikergehalte, 35 graden moet aanwijzen. Wees de areometer meer aan, bijv. 38 graden, dan zoude het suikergehalte te groot zijn; wees hij minder aan, het zoude niet groot genoeg wezen. Het is voor den stroop-fabriekant een eenvoudig middel om de sterkte zijner stroop te bepalen.

Even zoo leert de proef, dat de areometer van Baumé in zeewater gedompeld, dat de badtemperatuur heeft, 3 graden aantoont: hierin hebben wij eene aanwijzing voor de kunstmatige zeebaden, welke de geneesheeren tegen sommige kwalen voorschrijven. Heeft men een zoutweger van Baumé, dan is het altijd gemakkelijk een kunstbad te maken, dat zeer nabij een natuurlijk zeebad komt; men behoeft slechts van tijd tot tijd wat zout bij het water te voegen, terwijl men het gestadig omroert, tot dat de areometer 3 graden aanwijst.

Baumé heeft ook een drankweger samengesteld, die veel overeenkomst heeft met zijnen zoutweger; maar daar Gay-Lussac daarna een veel nauwkeuriger instrument samenstelde, zullen wij *alleen dit laatste* beschrijven.

105. **Honderddeelige alcoholmeter van Gay-Lussac.** (*) De geestrijke vochten, die in den handel en in de huishouding voorkomen, bestaan uit zuiveren alcohol en water; hoe minder water zij bevatten des te sterker zijn zij, en omgekeerd, hoe meer water zij bevatten des te slapper zijn zij en des te minder waarde hebben zij. Het is dus voor den handel van belang om juist de hoeveelheid water te kunnen bepalen, die in een gegeven geestrijk vocht aanwezig is. Hiertoe komt men op een eenvoudige wijze door den alcoholmeter van Gay-Lussac.

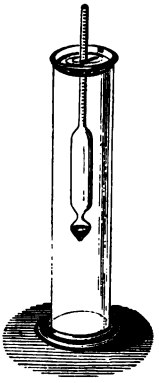


Fig. 84. Alcoholmeter van Gay-Lussac.

Dit kleine werktuig in fig. 84 voorgesteld, gedompeld in een proefglas dat gevuld is met wijngeest, heeft geheel den vorm van den areometer van Baumé, van welken het dan ook alleen in graadverdeeling verschilt. Deze verdeeling is zoo-

(*) Met meer recht evenwel zou dit instrument den naam dragen van **Adam van der Toorn** (geb. 10 Mei 1785 en overleden te 's Hage 22 Mei 1870), want reeds in 1814, 1815 en 1816 werd door hem in zijne qualiteit als adviseur voor wis- en scheikundige zaken bij het Departement van Financien, eene inrichting van den vochtweger op wiskundigen grondslag voorgesteld, eerst voor eigen gebruik, toen voor het publiek, daarna (in overleg met den Hoogleeraar J. H. van Swinden) op wettig gezag officieel. Daarbij werd bepaald, dat er een element van schalering bij den vochtweger zou worden aangenomen en gebruikt, en wel van tweeërlei aard: een *tiendeelig* en een *twaalfdeelig;* in getallen 100 en 144.

Historisch is het bekend en officieel wordt het bewezen, dat bij de Belasting reeds in 1816 de invoering van vochtmeters met het element 100 en 144 heeft plaats gehad. In 1819 waren er in 's Rijks magazijn 250 nieuwe vochtmeters, door den adviseur voor schei- en wiskundige zaken nagezien, aanwezig.

Een herleidingstafel, berekend door A. van der Toorn, is gedrukt volgens besluit van 23 Jan. 1818, n⁰. 29, terwijl eene dergelijke herleidingstafel van Gay-Lussac gedrukt is December 1824 op de koninklijke drukkerij te Parijs. De heer Collardeau te Parijs, die voor A. van der Toorn de noodige areometers vervaardigd heeft, deed het later ook voor Gay-Lussac, en zond in 1827 aan A. van der Toorn de herleidingstafel van Gay-Lussac, dus 9 jaar nadat de tafels van A. van der Toorn gedrukt waren.

Voor ons land zou dus zeer terecht de honderddeelige areometer den n van A. van der Toorn dragen.

danig, dat zij niet alleen aanwijst of een gegeven alcohol meer of minder water bevat, maar ook de juiste hoeveelheid. Om deze verdeeling te verkrijgen, dompelde Gay-Lussac het instrument eerst in geheel watervrijen alcohol, en op het boveneinde van den steel, dat dan juist het water moet raken, plaatst hij 100. Daarna maakte hij een mengsel van 99 deelen alcohol en 1 deel water; hij dompelde hierin het werktuig en dit zakte nu minder diep omdat het water, bij den alcohol gevoegd, zijne dichtheid vermeerderde. Op de plaats waar nu de steel boven het vocht kwam plaatste hij 99, dat wil zeggen het volume van den alcohol die in het mengsel bevat is. Vervolgens maakte hij mengsel van 98 deelen alcohol en 2 deelen water, van 97 alcohol en 3 water: van 96 alcohol en 4 water en zoo voorts: en op de plaats waar dan de steel boven het vocht kwam plaatste hij 98, 97, 96 enz.

Heeft men den alcoholmeter op deze wijze gegradueerd, dan begrijpt men er ligt het gebruik van. Moet men brandewijn onderzoeken, dan dompelt men er het instrument in, en zinkt dit nu bijv. tot nummer 85 van den steel, dan toont dit aan, dat de brandewijn 85 % alcohol en 15 % water bevat, dat wil zeggen, dat in 100 liters van dezen brandewijn bevat zijn 85 liters alcohol en 15 liters water. Men kan dus de waarde juist bepalen. Om echter op de aanwijzing van den alcoholmeter te kunnen vertrouwen, moet men, terwijl men hem gradueert, de vermindering van volume in rekening brengen die water en alcohol ondergaan, wanneer men hen mengt (zie 9); en ook de temperatuur der vloeistof op het oogenblik dat men den alcoholmeter indompelt.

106. **Melkweger.** De *melkweger* is een klein instrument, waarmede men de hoedanigheid der melk toetst en dat ook in vorm veel overeenkomst heeft met den areometer van Baumé, zooals men ziet bij A (fig. 85): maar men gradueert hem op eene andere wijze. Zij is deze: men dompelt het instrument in eene schaal vol zuivere en goede melk en plaatst dan 0 op een reepje papier, dat in den *steel van den melkweger* bevat is, bij het punt waar

Fig 85. Melkweger.

de steel boven het water uitsteekt. Nu maakt men mengsels van $^{9}/_{10}$ zuivere melk en $^{1}/_{10}$ water, van $^{8}/_{10}$ melk en $^{2}/_{10}$ water en zoo voort tot $^{5}/_{10}$ water en dompelt hier achtereenvolgens het instrument in, dat meer en meer inzinkt; daar de gemengde melk minder dicht dan zuivere melk is. Dan plaatst men op al de punten waar de steel boven het vocht komt, de getallen $^{1}/_{10}$, $^{2}/_{10}$, $^{3}/_{10}$, $^{4}/_{10}$ en $^{5}/_{10}$ of $^{1}/_{2}$ en men heeft eene schaal, die de hoeveelheid water, in de melk bevat, doet kennen.

Intusschen, zoo deze melkweger in eene gegevene hoeveelheid melk aanwees $^{3}/_{10}$, $^{4}/_{10}$ of $^{5}/_{10}$, dan zoude men hieruit nog niet mogen besluiten, dat de melk door toevoeging van water vervalscht was, omdat zij uit zich zelf van slechte hoedanigheid kan zijn. Men kan alleen de zekerheid hebben, dat de onderzochte melk arm was aan melksuiker en kaasstof.

DERDE BOEK.

DE GASSEN.

HOOFDSTUK I.

EIGENSCHAPPEN DER GASSEN, ATMOSPHEER, BAROMETER.

107. **Over de gassen in het algemeen.** Wij hebben reeds gezien (zie 5) dat men de *gassen* of luchtvormige vloeistoffen zoodanige stoffen noemt, wier moleculen eene volmaakte beweeglijkheid bezitten, en onderling in een toestand van voortdurende afstooting verkeeren; deze wordt door de namen *uitzetbaarheid*, *spanning*, *veerkracht* aangeduid: van daar dragen de gassen zelve den naam van *veerkrachtige vloeistoffen.*

Men kent in de Chemie vier en dertig verschillende gassen; slechts vier hiervan zijn enkelvoudig, d. i. gevormd door eene enkele soort van stof: de zuurstof, de stikstof, de waterstof en het chloor. Sommige gassen zijn gekleurd, de meeste echter zijn kleurloos. Verscheidene verspreiden eenen min of meer onaangenamen reuk, andere zijn volkomen reukeloos. Sommigen zijn doodend, d. i. vergiftig voor de levende wezens die hen inademmen, zooals het kooloxyde, dat ontstaat bij de onvolkomen verbranding van kool, en het zwavelwaterstofgas, dat zich in de secreetputten ontwikkelt. Andere zijn onschadelijk, als de stikstof en de waterstof; een dier evenwel kan er niet in blijven leven. Zij zijn niet doodend, doch onderhouden het leven niet. Alleen de zuurstof heeft deze eigenschap; van dit gas beroofd, zelfs gedurende eenige seconden, sterft een dier dadelijk.

Laten wij eindelijk bij deze algemeene opmerkingen over de gassen nog voegen, dat de meeste van den luchtvormigen in den vloeibaren toestand kunnen gebracht worden, door eene sterke drukking, of eene groote afkoeling, of door beide te zamen. Er zijn slechts vijf gassen, die niet in den vloeibaren toestand zijn kunnen gebracht worden, aan welke drukking of afkoeling men hen ook blootgesteld heeft. Deze zijn: de zuurstof, *waterstof*, *stikstof*, het stikstofoxyde en het kool-

oxyde. De gassen, die zoo in den luchtvormigen toestand blijven, worden onderscheiden door den naam van *permanente gassen*, de andere zijn *niet permanente gassen*.

De natuurkundige eigenschappen der gassen zijn voor alle dezelfde; daarom zal het voldoende zijn een enkel te beschouwen en dit zal bij voorkeur de lucht zijn, daar deze zich overal bevindt en men er gemakkelijk proeven op nemen kan.

108. **Over de lucht.** De *lucht* is de gasvormige vloeistof, waarin wij leven. Eigenlijk gezegd is het niet één gas, maar een mengsel van twee gassen, zuurstof en stikstof. De verhouding, waarin zij vermengd zijn, is nagenoeg 21 deelen zuurstof op 79 deelen stikstof, d. i. dat 100 liters lucht, 21 liters zuurstof en 79 liters stikstof bevatten. De zuurstof der lucht onderhoudt alle verbrandingen, die rondom ons plaats hebben. Dit gas onderhoudt ook het leven der levende wezens, zooals wij boven gezien hebben. Indien alleen de zuurstof in de lucht aanwezig was, zouden de verbrandingen te sterk zijn, en het leven te snel, het hout op onze haarden zou bijna oogenblikkelijk verbranden; de metalen zelve zouden voedsel voor het vuur worden; onze haardijzers en alle metalen versierselen van onze schoorsteenen zouden verbranden als hout. Wat het leven betreft, dit zou spoedig verteerd zijn door de werkzaamheid van eenen te krachtigen prikkel. Er was dus in de lucht een tweede gas noodig, geschikt om de te sterke uitwerkselen van het eerste te verzachten; dit gas is de stikstof, die bijna vier vijfde gedeelten van de lucht uitmaakt, en de werking van de zuurstof genoegzaam matigt.

De lucht is doorschijnend, reukeloos, kleurloos, ten minste in eene geringe hoeveelheid; maar in eene groote hoeveelheid is zij blaauw, zij is het, die aan den hemel de kleur geeft. Zonder de lucht zou het hemelgewelf ons zwart voorkomen, welke kleur het reeds begint aan te nemen voor hen, die op hooge bergen waarnemingen doen, en voor hen, die in een luchtballon opstijgen, omdat zij boven zich niets hebben dan eene verdunde lucht.

Eindelijk hebben wij hierboven aangetoond dat de lucht en alle gassen in de hoogste mate samendrukbaar en veerkrachtig zijn. Wij zullen spoedig zien, wanneer over het *geluid gesproken* wordt, dat het de lucht is, die, door hare

veerkracht, dient tot het overbrengen van alle geluiden, van de sterkste tot de zwakste; zoodat, zonder deze vloeistof, waarin wij allen gedompeld zijn, wij het genoegen van de muziek zouden moeten missen, en zelfs niet zouden kunnen spreken of zingen.

109. **Uitzettingsvermogen der lucht.** De lucht, even als alle gassen, heeft een uitzettingsvermogen, eene neiging om altijd eene grootere ruimte in te nemen.

Om deze eigenschap aan te toonen, neemt men eene blaas van eene koperen kraan voorzien, die hermetisch sluit (fig. 86): vervolgens bevochtigt men de blaas om haar leniger te maken, en opent de kraan, waarna men de blaas samendrukt, zoodat men bijna alle lucht die zij bevat, er uit doet gaan. Wanneer er dan slechts eene kleine hoeveelheid lucht overblijft, sluit men de kraan, en legt de in-ééngedeukte blaas onder eene glazen klok, die op de plaat van eene luchtpomp geplaatst is. Eerst drukt de lucht, die onder de klok is, zelf aan haar uitzettingsvermogen gehoorzamende, de blaas samen, en belet haar op te zwellen; maar, naarmate men de pomp laat werken, en de lucht, die onder de klok is, er uitpompt, ziet men de blaas zwellen, alsof men er in blies. Dit zelfde verschijnsel vertoont zich nu ook, wanneer men in plaats van lucht, stikstof, waterstof, koolzuur, in één woord, welk gas ook, in de blaas doet. Dit doet ons zien dat alle gassen de eigenschap hebben van zich te kunnen uitz

Fig. 86. Uitzettingsvermogen der gassen.

110. **Gewicht der lucht.** De groote mate van vloeibaarheid van de gassen en vooral hun uitzettingsvermogen zouden kunnen doen denken, dat deze soort van ligchamen niet aan de wetten der zwaartekracht onderhevig zijn. Ten onrechte: alle gassen hebben een gewicht, gering wel is waar, maar gemakkelijk waar te nemen met de gewone balans. Men neemt hiertoe een glazen ballon van 4 à 5 Ned. kannen inhoud, waaraan eene hermetisch sluitende kraan is verbonden. Nadat men deze kraan op de luchtpomp vastgeschroefd heeft, pompt men uit den ballon al de lucht, die hij bevat; vervolgens sluit men de kraan, hangt den ballon op aan eene schaal van de balans, zooals fig. 87 aantoont, en bepaalt er het gewicht van, terwijl hij ledig is. Vervolgens de kraan openende om de lucht er weder in te laten, en den ballon op nieuw, met dit gas gevuld, wegende, neemt men eene merkelijke vermeerdering van gewicht waar. Wanneer men eerst den inhoud van den ballon gemeten heeft, vindt men zoo, dat een Ned. kan lucht, op de temperatuur van smeltend ijs, en onder de gewone drukking van de atmospheer, dat is eene drukking van 760 millimeters, 1,3 wichtje weegt; dus 770 malen minder dan een gelijk volume water.

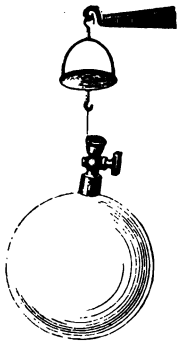


Fig. 87. Gewicht van lucht.

Wanneer men op dezelfde wijze met andere gassen handelt, vindt men, dat alle gewicht hebben, en dat de waterstof het lichtste gas is; eene Ned. kan van dit gas weegt 0,09 wichtjes, d. i. 14 en een halve maal minder dan de lucht.

DAMPKRING; PROEVEN DIE ZIJN GEWICHT BEWIJZEN.

111. **Samenstelling van den dampkring.** Men noemt dampkring die laag lucht, die om zoo te zeggen, gelijk een licht kleedingstuk, het omhulsel vormt van den aardbol. Het bestaan van deze gasvormige massa wordt bewezen door de winden, die voortdurend op de oppervlakte van de aarde waaijen, door het vliegen der vogels, door het blijven zweven der wolken.

Behalve de zuurstof en stikstof, waaruit de lucht bestaat,

bevat de dampkring waterdamp en koolzuur. Het gewicht van waterdamp verschilt naar de getijden, klimaten, temperatuur, en de richting der winden.

Dit gewicht is gemiddeld in ons klimaat, van 3 tot 6 wichtjes in de kubiek el lucht, doch somtijds veel meer. Het kan bij eene vochtige zomerwarmte tot meer dan 20 wichtjes klimmen. De waterdamp, die door den dampkring verspreid is, stoort dikwijls zijne doorzichtigheid. Wat de hoeveelheid koolzuur betreft, die in de lucht aanwezig is, zij is veranderlijk, maar klimt gemiddeld op tot 1 wichtje in de kubiek el.

Het koolzuur, dat in den dampkring aanwezig is, wordt voornamelijk voortgebracht door de uitademing der menschen en dieren, en door de verbranding van het hout en de steenkolen, die in de fabrieken verbruikt worden. Deze laatste oorzaak van voortbrenging van koolzuur neemt van jaar tot jaar snel toe. Men heeft berekend, dat alleen in Europa de hoeveelheid van koolzuur, hetwelk zich zoo in den dampkring verspreidt, 80 duizend millioenen kubiek ellen in het jaar bedraagt. Deze hoeveelheid gas staat gelijk met die, welke zou voortgebracht worden door de uitademing van 509 millioenen menschen, die ieder, door het ademen, 10 wichtjes kool per uur uit de bestanddeelen huns ligchaams in koolzuur omzetten. Het is meer dan het dubbel van hetgeen de bevolking van Europa voortbrengt. Voegen wij hier eindelijk nog bij, dat de vuurspuwende bergen onophoudelijk in de dampkringslucht aanmerkelijke hoeveelheden van dit gas verspreiden. Niettegenstaande de veelvuldige oorzaken van voortbrenging van dit gas, neemt men waar dat de dampkring er eene nagenoeg standvastige hoeveelheid van bevat; dit komt daarvandaan, dat de bladen der planten de eigenschap bezitten het koolzuur van de lucht te ontleden om zich meester te maken van de kool, die het bevat, en zijne zuurstof aan de lucht terug te geven. Daarenboven wordt het koolzuur in het water der zeeën en der rivieren opgelost, waar het zich verbindt met de aardachtige stoffen, om aan kalk-afzettingen oorsprong te geven.

Zoo behoudt de dampkring, door eene natuurlijke harmonie, eene nagenoeg gelijk blijvende verhouding van koolzuur; zoo dat men niet behoeft te vreezen, dat de overvloed van dit gas eens schadelijk voor *het* menschengeslacht worde.

De hoogte van den dampkring is beperkt: door de waarne ming van de schemeringen is zij geschat op 60 à 70 kilo meters rondom de aarde.

112. **Dampkringsdrukking.** Daar wij hierboven gezien heb ben (zie 110) dat de lucht gewicht heeft, kunnen wij hier uit opmaken dat de gezamenlijke hoeveelheid lucht, die de dampkring vormt, eene vrij aanmerkelijke drukking moet uit oefenen op de oppervlakte van den aardbol en alle ligcha men, die zich daarop bevinden; aan deze drukking geeft me den naam van *dampkringsdrukking*. Zij neemt noodzakelijl af naarmate men zich in den dampkring verheft; want al men zich dien voorstelt horizontaal in lagen verdeeld, di boven elkander geplaatst zijn, is het duidelijk, dat de onder ste lagen, het gewicht van den geheelen dampkring dragende het meest samengedrukt, en daarom het meest dicht zijn terwijl de bovenste lagen hoe langer hoe minder samenge drukt zijn, en bij gevolg hoe langer hoe minder dicht; di drukt men uit door te zeggen dat zij meer *verdund* zijn Toen wij zeiden (zie 110) dat één Ned. kan lucht 1,3 wicht jes weegt, spraken wij van lucht, genomen op de oppervlakt van den grond; de lucht genomen in de hoogere streken va den dampkring zou minder wegen.

De dampkringsdrukking wordt door vele proeven aange toond. De voornaamste zijn de berstende blaas, de Maag denburger halve bollen, en de buis van Torricelli.

113. **De berstende blaas.** De berstende blaas is een klei toestel dat dient om de dampkringsdrukking aan te toonen het bestaat in een glazen cylinder, aan beide zijden geopend Een van deze openingen wordt hermetisch gesloten, door e een dun en buigzaam vlies, gewoonlijk goudvlies, op te be vestigen. Men plaatst vervolgens de geopende zijde van de cylinder op den ontvanger van de luchtpomp (fig. 88); n wordt het vlies, aan de buitenzijde, van boven naar benede gedrukt door het gewicht van den dampkring, en aan d binnenzijde van beneden naar boven door het uitzettings vermogen der lucht, die in den cylinder is. Deze twe drukkingen zijn eerst in evenwicht, en daarom wordt het vlie noch aan den eenen, noch aan den anderen kant ingedrukt naarmate men de lucht uit den cylinder pompt, en hierdoo de spanning aan de binnenzijde vermindert, ziet men dat he

vlies neergedrukt wordt, door het gewicht van den dampkring, en spoedig breekt met een' hevigen slag, veroorzaakt door het plotseling binnenvallen van de lucht in den cylinder.

Fig 88. De berstende blaas.

114. **Maagdenburger halve bollen.** Men toont de dampkringsdrukking ook nog aan met de Maagdenburger halve bollen. Dit toestel, zoo genoemd naar den naam van de stad waar het uitgevonden is, bestaat uit twee halve bollen van koper, die volkomen met hunne randen op elkander passen kunnen, zoodat zij hermetisch sluiten (fig. 89). Wanneer deze twee halve bollen op elkander geplaatst zijn, en hunne inwendige ruimte gevuld is met lucht, is er evenwicht tusschen het uitzettingsvermogen van deze met de drukking, die de dampkring oefent op elken halven bol, zoodat men ze dan zonder moeite van elkander nemen kan.

Indien men de lucht, in de halve bollen besloten, er uit pompt, is er niets dat tegen de drukking van buiten opweegt, en dan kan men ze niet meer scheiden, zonder groote moeite; zoo zelfs dat wanneer de halve bollen vrij groot zijn, twee personen ze niet van elkander kunen trekken (fig. 90).

Fig. 89. Maagdenburger halve bollen.

Weldra zullen wij zien (zie 116) dat de dampkringsdrukking op een' vierkanten duim, 1,033 kilogram bedraagt. Bij gevolg, indien in de hierboven aangehaalde proef, de oppervlakte, niet van elken halven bol, maar van den cirkel in welken zij op elkander sluiten, bijv. 100 vierkante duimen bedraagt, zal de kracht die hen samendrukt 100 maal 1,033 kilogram, d. i. 103,3 kilogram bedragen. Zoo zal dus ook de kracht moeten zijn om hen te scheiden.

Otto van Guericke, burgemeester van Maagdenburg, is de uitvinder van het toestel, dat wij hebben beschreven.

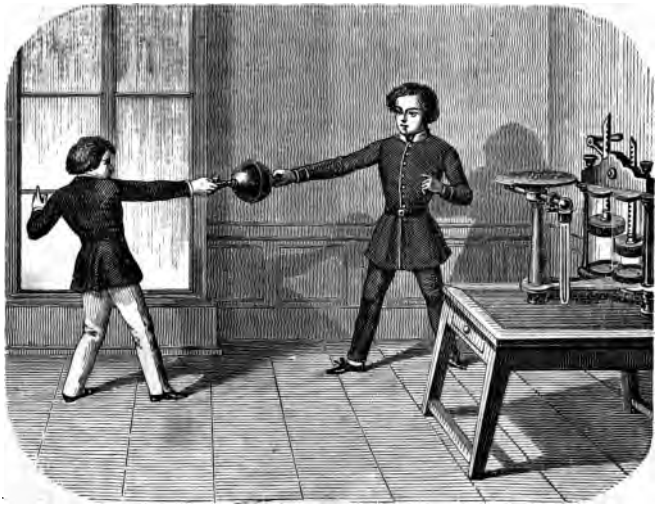


Fig. 90. Proef met de Maagdenburger halve bollen.

Hij liet twee halve bollen maken van 65 duim middellijn, dat voor den cirkel, waarin zij op elkander pasten, eene oppervlakte van 3317 vierkante duimen is, hetwelk overeenkomt met eene drukking van 3426 kilogram. Men verhaalt ook dat 6 paarden aan de halve bollen gespannen, bij eene openbare proef, hen niet van elkander konden trekken.

MAAT VAN DE DAMPKRINGSDRUKKING, BAROMETER.

115. **Buis van Torricelli.** De proef met de berstende blaas en die met de Maagdenburger halve bollen bewijzen wel, dat er dampkringsdrukking bestaat, maar zij geven er de maat niet van op in Ned. ponden; zij zeggen niet of deze drukking bijv. van 1 of 2 pond op den vierkanten duim is. De volgende proef nu, voor de eerste maal in 1643 door Torricelli, italiaansch natuurkundige en leerling van Galileï, gedaan, toont niet alleen de dampkringsdrukking aan, maar geeft tevens het middel aan de hand om haar in ponden te schatten. Men neemt hiertoe een glazen buis, omstreeks 85 duim lang, aan het eene eind gesloten, aan het andere geopend. Nadat men deze buis met kwik gevuld heeft, sluit men het geopende einde er van met den duim, keert de buis om en dompelt haar in een klein bakje, met kwik gevuld (fig. 91). Als men dan den duim terugtrekt, ziet men het kwik in de buis zakken, doch niet geheel; het daalt slechts eenige duimen, en de kolom, die in de buis blijft, heeft eene hoogte van omstreeks 76 duim. Nu is het duidelijk dat het bovenste gedeelte van de buis, waar geen kwik in is, ook luchtledig is; er wordt dus geene drukking uitgeoefend boven op de kwikkolom; dus is deze kolom alleen onderworpen aan de werking van de zwaarte, en als zij niet door haar eigen gewicht valt, kan dit niet anders zijn, dan omdat het gewicht van den dampkring, die van buiten werkt, op de oppervlakte van het kwik in het bakje A, er eene drukking op uitoefent, volmaakt gelijk aan die van de kolom AB. Het kwik is eerst in de buis gedaald, omdat zijn gewicht de drukking van den dampkring overtrof; maar zoodra het gewicht van de kolom kwik, die in de buis is, gelijk is aan de dampkringsdrukking van buiten, bestaat er evenwicht. Daar dit nu gebeurt, wanneer de ko-

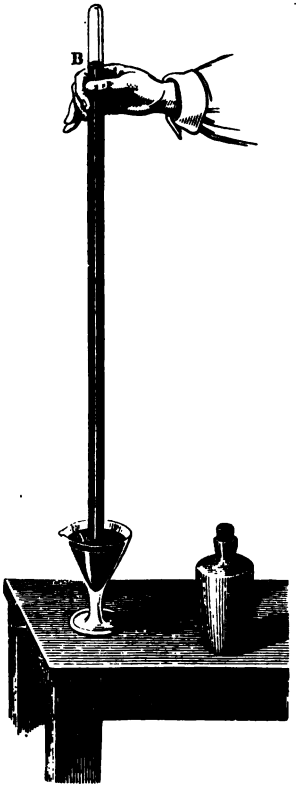


Fig. 91. Proef van Torricelli.

lom kwik in de buis eene hoogte heeft van 76 duim, leidt men er uit af, dat de drukking, uitgeoefend door den dampkring, op eene gegevene oppervlakte, gelijk staat met de drukking van eene kolom kwik, 76 duim hoog.

116. **Bedrag van de dampkringsdrukking in Ned. ponden.** Nu men eenmaal weet, dat, op de oppervlakte van de aarde de ligchamen van den dampkring dezelfde drukking ondervinden, als wanneer zij met eene laag kwik van 76 duim hoogte overdekt waren, wordt het gemakkelijk om het bedrag van deze drukking in Ned. ponden te vinden. Indien men eerst eene oppervlakte van een vierkanten duim beschouwt, zou deze oppervlakte de drukking van eene kolom kwik verdragen, die 1 vierkanten duim basis, en 76 duimen hoogte had. Deze kolom kan, dat is duidelijk, verdeeld worden in 76 gelijke deelen, ieder van één cubiek duim, en haar volume zal dus 76 cubiek duimen bedragen. Een cubiek duim water nu weegt 1 wichtje; dus moet de cubiek duim kwik, daar deze 13,6 maal dichter is dan het water, 13,6 wichtjes wegen; de kolom kwik dus, die wij beschouwden, weegt 76 maal 13,6 wichtjes of 1,033 Ned. ponden. Daar wij nu hierboven gezien hebben, dat de dampkringsdrukking, op eene gegevene oppervlakte, dezelfde is als die van een laag kwik van 76 duim hoogte, kunnen wij zeggen, dat het gewicht van den dampkring op één vierkanten duim, 1,033 Ned. ponden bedraagt. Op 1 vierkanten palm, die gelijk staat met 100 vierkante duimen, is deze drukking 100 maal

grooter, d. i. 103,3 Ned. pond; en op 1 vierkante Ned. el, die gelijk staat met 100 vierkante palmen, is zij 10330 Ned. ponden.

Deze drukking van 1,033 Ned. pond op iederen vierkanten duim oppervlakte, wordt *de druk van ééne atmospheer* genoemd; en men verstaat onder druk van 2, 3, 4 atmospheren, een druk gelijk aan 2, 3, 4 maal 1,033 Ned. pond op den vierkanten duim. Wanneer men bijv. zegt, dat een damp of gas, in een gesloten vat, 6 atmospheren druk heeft, beteekent dit, dat die damp of dat gas, door zijn uitzettingsvermogen, op iederen vierkanten duim van de binnenzijde van het vat eenen druk uitoefent gelijk aan 6 maal 1,033 Ned. pond, d. i. 6,198 Ned. pond.

117. **Proeven van Pascal.** Zoodra de proef van Torricelli in Frankrijk bekend was, deed Blaise Pascal, om zeker te zijn of het wel de drukking der lucht was, die het kwik in de buis hield, de twee volgende proeven.

1°. Pascal wenschte bevestigd te zien, dat, wanneer de dampkringsdrukking verminderde, ook de hoogte van het kwik in de buis zou verminderen, daar dit zou bewijzen, dat het de dampkringsdrukking is die de kolom ophoudt. Hij vroeg dus één zijner bloedverwanten, die in Auvergne woonde, om de proef van Torricelli op den Puy-de-Dôme te herhalen. Daar nu de dampkringsdrukking verminderde naarmate men hooger klom, omdat de waarnemer boven zich eene minder groote massa lucht had dan aan den voet van den berg, nam men waar dat het kwik des te meer in de buis daalde, hoe dichter deze bij den top van den berg gebracht was, en dat het weder rees in de buis naarmate men daalde; dit bewees, dat het wel de dampkringsdrukking is, die het kwik in de buis rijzen doet.

2°. Pascal zag ook nog in, dat, indien het werkelijk de dampkringsdrukking was, die het kwik in de buis ophield, en niet eene bijzondere eigenschap van deze vloeistof, men, eene andere vloeistof nemende, des te grootere hoogte moest verkrijgen, naarmate de vloeistof minder dicht was; dit was noodig opdat de drukking, binnen in de buis, voortdurend gelijk zou zijn, aan de drukking van buiten door den dampkring. Daarom deed hij te Rouaan, in 1646, deze tweede proef: hij nam een buis, gelijk aan die van Torricelli, maar van

15 Ned. ellen hoogte; deze vulde hij met wijn, en keerde haar in een' bak, die met dezelfde vloeistof gevuld was, om. Nu nam hij waar, dat de wijn eerst in de buis daalde, en op eene hoogte van $10^1/_2$ Ned. ellen, d. i. op eene hoogte van ongeveer 14 maal die van het kwik, bleef staan. Dit bevestigde hetgeen hij vooruit ingezien had, omdat de wijn bijna 14 maal minder dicht is dan het kwik.

BAROMETER.

118. **Bak-barometer.** De barometer is een instrument, dat dient om de drukking van den dampkring te meten, zoo als zijn naam, gevormd van 2 grieksche woorden, aanduidt; deze beteekenen *maat van het gewicht*, te weten: der lucht. De buis van Torricelli hierboven (fig. 91) beschreven, is een ware barometer; maar men moest er den vorm van wijzigen, om hem met juistheid de dampkringsdrukking te doen meten, en om hem te kunnen verplaatsen. Dit zullen wij doen zien.

Laten wij eerst opmerken, dat men twee soorten van barometers onderscheidt: den *bak-barometer* en den *hevel-barometer*. Fig. 92 toont ons den vorm aan, waarin de bak-barometer doorgaans voorkomt. Hij is samengesteld uit eene glazen buis *a i* ter hoogte van ongeveer 86 Ned. duim, en bijna 1 Ned. duim doorsnede, aan de buitenzijde gemeten. Deze buis, die aan den eenen kant geopend, aan den anderen gesloten is, wordt met kwik gevuld en daarna omgekeerd en met den geopenden kant in een rond bakje A, van glas, en gedeeltelijk met kwik gevuld, gedompeld. Van dit bakje is de voorzijde alleen zichtbaar, daar de andere helft bevestigd is aan een mahoniehouten plankje, waaraan de geheele barometer verbonden is. Het bakje eindigt onderaan in een bolvormig gedeelte, dat met kwik gevuld is, en waarin men de buis *a i* dompelt. Boven aan dezelfde buis eindelijk, aan de regterzijde, is eene koperen schaal, in strepen afgedeeld en bestemd om de hoogte van het kwik in de buis te meten. Daartoe begint de verdeeling van deze schaal van de oppervlakte van het kwik in het bakje, d. i. het nulpunt van de schaal is de oppervlakte van het kwik in het bakje. Indien dus de top van de kolom kwik in de buis gelijk staat, bijv. met nummer 760 van de schaal, wijst dit aan, dat de kolom kwik, van zijn top *a* tot de oppervlakte van het kwik

het bakje, eene hoogte heeft van 760 strepen, of 76 duimen. Men teekent niet de geheele schaal van boven naar beneden langs het plankje, omdat dit onnoodig is, daar de oppervlakte van het kwik in de buis slechts weinige duimen verandert. Alleen in geval men zich tot eene groote hoogte verheft, moet het verdeelde gedeelte van de schaal grooter zijn.

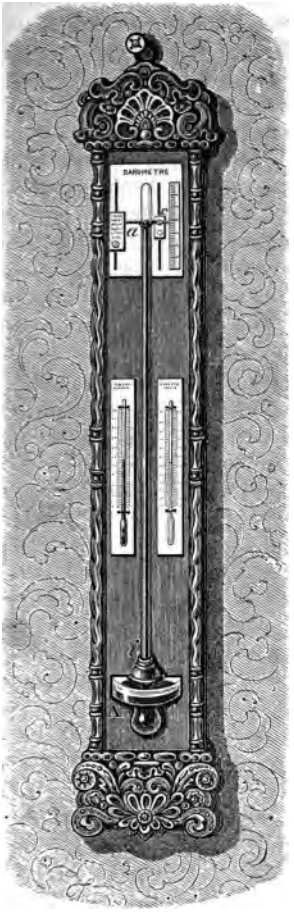


Fig. 92. Bak-barometer.

Wij hebben zoo even gezien dat het uitgangspunt van de verdeeling der schaal van den barometer, de oppervlakte van het kwik in het bakje is. Dit veronderstelt dat de oppervlakte altijd op dezelfde hoogte blijft, hetgeen niet juist is. Daar de dampkringsdrukking toch ieder oogenblik verandert, zooals wij spoedig zien zullen (zie 121), gaat er, wanneer zij vermeerdert, eene zekere hoeveelheid kwik uit het bakje in de buis over, en ten gevolge hiervan daalt de oppervlakte van het kwik in het bakje; en omgekeerd, als de dampkringsdrukking vermindert, komt er eene zekere hoeveelheid kwik uit de buis in het bakje, en wordt de oppervlakte daarin hooger. Daar de oppervlakte van het kwik zoodoende zeer dikwijls verandert, staat zij bijna nooit gelijk met het nulpunt der schaal. Om deze ut voor 't grootste deel te verbeteren, geeft men aan het *ıkje den vorm, voorgesteld* in fig. 92. Zijn bovenste ge-

deelte, dat gelijk staat met de oppervlakte van het kwik, is zeer groot, één palm middellijn ongeveer; hierdoor is de verandering van oppervlakte weinig merkbaar, en kan over 't hoofd gezien worden, daar het kwik, dat uit het bakje in de buis, of omgekeerd, uit de buis in het bakje gaat, over een groot vlak verdeeld wordt. Men maakt ook bak-barometers, waar de fout, waarvan wij spraken, verbeterd is door een, aan het bakje bevestigden, buigzamen bodem van gemzenleder. Als het kwik in het bakje lager is dan het nulpunt van de schaal, ligt men den bodem op, en bij gevolg het kwik, door eene schroef, die onder het bakje geplaatst is. Als het kwik hooger is dan het nulpunt, laat men het zakken, door de schroef andersom te draaijen: en, in beide gevallen, kan men gemakkelijk de oppervlakte van het kwik doen overeenkomen met het nulpunt van de schaal. Deze soort van bak-barometer draagt, naar zijn uitvinder, den naam van bak-barometer van Fortin.

Uit de bijzonderheden, die wij zoo even beschreven hebben, begrijpt men gemakkelijk hoe de barometer, in fig. 92 afgebeeld, werkt. Men merke daartoe op, dat bij het punt *i*, waar de buis in het bakje komt, dit niet volmaakt gesloten is door de buis, zoodat de lucht vrij tusschen de buis en den binnenwand van het deksel van het bakje kan doorgaan; zoodat de dampkringsdrukking daarop vrij blijft werken. Wanneer men dit aanneemt, is het de drukking van den dampkring, die de kolom kwik *a i* in de buis ophoudt, daar de oppervlakte van het kwik, in het bakje, de drukking van den dampkring ondervindt. Wordt die drukking sterker, zoo rijst, — vermindert zij, zoo daalt het kwik. Daar men nu ziet, dat de barometerhoogte niet alleen elken dag, maar zelfs meermalen op één dag verandert, is dit een teeken, dat de dampkringsdrukking zelve voortdurend aan verandering onderhevig is.

Om de beschrijving van den bak-barometer te voltooijen, moeten wij er nog bijvoegen, dat een klein plaatje *c*, boven aan het instrument geteekend, tusschen de buis en de verdeelde schaal, beweegbaar is, en gemakkelijk kan verschoven worden in eene sleuf, die evenwijdig loopt met de buis. Aan dit plaatje, dat men *looper* noemt, is een klein dun metalen plaatje horizontaal bevestigd; dit kromt zich om de buis, zonder haar aan te raken. Wanneer men dit zet op de

hoogte van het kwik in de buis, komt het met één einde bij de verdeelingen op de schaal, en met het andere, bij de, op een ander plaatje, gegraveerde opschriften, aan de linkerzijde van de buis. Wij zullen spoedig het gebruik van deze opschriften vermelden (zie 125). Eindelijk zijn midden in het plankje, aan beide zijden van de buis, twee thermometers, bestemd om de temperatuur der lucht aan te wijzen. Een van deze thermometers bevat kwik, de andere alcohol. Eén zou voldoende zijn: alleen ter versiering plaatst men er dikwijls twee.

119. **Barometer van Fortin.** Fortin, een instrumentmaker te Parijs, heeft, zie pag. 138, aan zijn barometer een bak aangebracht met beweegbaren bodem; door dezen te doen rijzen of te doen dalen, kan steeds het kwik in den bak op dezelfde hoogte gehouden worden.

Deze bak, nagenoeg op de halve ware grootte voorgesteld in fig. 93, bestaat uit een glazen cylinder *b*, 4 centimeters diameter bij 3 centimeters hoogte. Deze cylinder is van boven gesloten door een klein schijfje palmhout, dat onder den koperen deksel *M* bevestigd is. Midden door het schijfje en den deksel gaat de barometerbuis E, welke in eene punt uit getrokken is, en in het kwik van den bak dompelt. Deze bak en de buis zijn op twee plaatsen sterk samengebonden door een stukje gemzeleder *c e*, vooreerst bij *c*, waar de buis eene vernauwing heeft, en dan nog bij *e*, een koper mondstuk dat aan het middeldeksel bevestigd is. Deze sluiting is voldoende om het kwik tegen te houden, als men den barometer omkeert, maar zij is geen hinderpaal voor de atmospherische drukking, welke zich zeer goed voortplant door de poriën van het gemzeleder heen, naar het kwik van den bak.

Beneden is de glazen cylinder *b* met lak bevestigd op een cylinder van palmhout *z z*, en buiten om dezen eindelijk is bij *i i* het stuk gemzeleer *m n* stevig vastgebonden, dat de bodem van den bak uitmaakt. Midden onder dit stukje leder vindt men een knopje palmhout *x*, dat op het uiteinde van een schroef *C* rust. Draait men de schroef in de eene of andere richting, dan rijst of daalt het knopje en met dit het stukje leder *m n*. Maar terwijl nu het kwik te gelijker tijd rijst of daalt, draait men de schroef zoolang tot dat de oppervlakte *van het metaal* een ivoren punt *a* bereikt, die aan

den deksel *M* bevestigd is, en door het glas heen gezien kan worden. Daar de oppervlakte van het kwik spiegelend is, ziet men er het omgekeerde beeld van de punt *a* in. Wanneer nu deze punt en haar beeld elkander raken, zoo als de nevensgaande teekening aantoont, dan heeft het kurk de juiste hoogte bereikt, want de verdeeling van de barometerschaal begint bij dit punt *a*. Eindelijk wordt het geheele onderste gedeelte van den bak nog door een koperen koker G omgeven. Drie schroefbouten *k*, *k*, *k*, bevestigen den koker aan den deksel M.

Fig. 93.

Fig. 94.

Barometer van Fortin.

Is de bak gereed en aan de buis bevestigd, zooals wij gezien hebben, dan schroeft men op het mondstuk, dat zich op den deksel bevindt, een lange koperen buis, welke de geheele barometerbuis omgeeft, zooals (fig. 94) ons op kleinere schaal doet zien. Bovenaan heeft men in deze koperen buis bij B in de lengte twee tegen elkander overstaande spleten, die de oppervlakte van het kwik in de barometerbuis doen zien. Daarenboven kan nog een ringvormige looper A over de koperen buis geschoven worden. Om nu de hoogte van de kwikkolom te meten, schuift men den looper op of neer, tot dat hij in ééne lijn staat met de bolle oppervlakte van het kwik. Dan leest men op eene in millimeters verdeelde schaal, die zich op de koperen bui[illegible] [illegible]f, bij welk getal de looper staat, en dit get[illegible] [illegible]te van het kwik in de buis aan.

an de koperen buis is een thermometer *t* bevestigd, welke e temperatuur leert kennen.

120. Hevel-barometer. De hevel-barometer heeft geen bakje;

Fig. 95. Fig. 96. Fig. 97.
Barometer van Gay-Lussac.

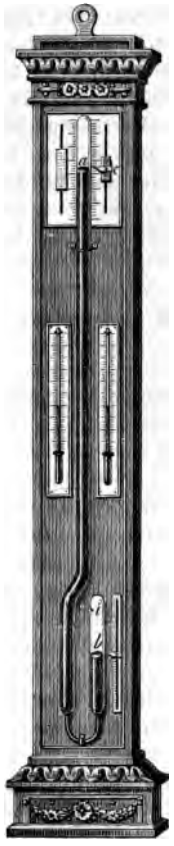


Fig. 98.
Hevel-barometer.

ij wordt eenvoudig samengesteld uit een glazen buis, die ot *twee ongelijke armen* omgebogen is en kwik bevat (fig. 95).

In fig. 98 ziet men den barometer bevestigd op een plaatje, waarop zich tevens twee thermometers bevinden.

Men geeft aan den hevel-barometer ook nog den naam van barometer van Gay-Lussac, omdat deze natuurkundige den grooten en den kleinen arm van dit instrument vereenigd heeft door eene haarbuis. Deze wijziging heeft ten doel om den doortocht van lucht van den kleinen arm in den grooten te verhinderen, wanneer men den barometer scheef houdt of hem omkeert (fig. 96). Dit is noodig, want wanneer de lucht doordrong in het barometrisch luchtledig, zoude het instrument niet anders dan valsche aanwijzingen doen (121).

Maar zoo men den barometer al te snel of onvoorzichtig omkeerde, zoude het kunnen gebeuren, dat er geen kwik in de haarbuis overbleef, en dat een luchtbelletje, er in doorgedrongen zijnde, eindelijk in den grooten arm geraakte. Om dit te voorkomen heeft Bunten, een instrumentmaker te Parijs, aan den grooten arm A (fig. 97) een wijdere buis B gesoldeerd, waarin de buis A, die tot eene fijne punt is uitgetrokken, uitkomt; eindelijk is aan deze buis B de kleine haarbuis van Gay-Lussac gesoldeerd. Komt nu bij deze inrichting bij toeval een luchtbelletje in de buis B, dan begeeft zich dit boven in deze buis, zoo als de teekening aantoont, maar geraakt niet in den grooten arm.

De twee armen zijn aan hunne bovenzijde gesloten (zie fig. 98), maar de kleine is aan ééne zijde geopend, bij het punt *i*. Door deze opening komt de dampkringsdrukking tot op het kwik bij *b*. Het bovenste gedeelte van den grooten arm, boven den top *a* van de kwikkolom, is luchtledig, gelijk in den bak-barometer. Alzoo blijkt het dat de kolom kwik, die in den langen arm is, opgehouden wordt door de dampkringsdrukking, die bij *b* op de oppervlakte van het kwik werkt. De hoogte van de kolom *ab* wijst dus het gewicht van den dampkring aan. Om deze hoogte te meten bevestigt men langs de buis eene schaal in strepen afgedeeld, even als bij den bak-barometer. Alleen is hier het nulpunt van de schaal niet meer aan het onderste gedeelte van de kolom *ab*, maar in het midden, tusschen de twee thermometers; zoodat men inderdaad twee schalen heeft: ééne, waarvan de verdeeling opklimt van het midden van de buis *tot aan den top a*, en eene andere, waarvan de verdeeling

an het midden van de buis naar den kleinen arm afdaalt. Van deze twee schalen behoudt men slechts de uiterste einden, het ééne langs den kleinen, het andere langs het bovenste deel van den langen arm. Om nu de hoogte van het kwik in den hevel-barometer te verkrijgen, schuift men twee loopers, gelijk aan dien, welke bij den bak-barometer beschreven is, gelijk met de oppervlakte van het kwik in *a* en in *b*. Vervolgens leest men op de schalen de aangewezen nummers af, en men neemt daarvan de som, die de gezochte hoogte in strepen aangeeft Bij voorbeeld, als de bovenste looper *c* bij 376 staat, en de benedenste looper bij 380, is de hoogte van den barometer op het oogenblik van de proef 376 plus 380, d. i. 756 strepen.

121. **Voorwaarden voor de juistheid der aanwijzingen van den barometer.** Het is noodzakelijk, dat een barometer, hetzij een bak-, hetzij een hevel-barometer, om juiste aanwijzingen te doen, in het bovenste gedeelte van de buis, dat zonder kwik is, ook geheel luchtledig zij en zonder vocht. Indien er een weinig lucht boven in de buis bleef, zou deze lucht door hare veerkracht de kolom kwik terugdrukken en haar beletten de hoogte te bereiken, welke zij moet hebben om de drukking van den dampkring aan te wijzen. Zoo zou het ook zijn, wanneer het bovengedeelte van de buis vocht bevatte; want dit zou damp doen ontstaan, en wij zullen zien, wanneer over de warmte gehandeld wordt, dat de dampen even als de gassen een min of meer groot uitzettingsvermogen hebben. In de glazen buizen nu kleeft er altijd eene laag lucht en vocht aan de wanden, zoo van binnen als van buiten.

Onder de gewone drukking van de lucht laat deze laag moeijelijk los van het glas, maar in het barometrisch luchtledig, waar geen drukking is, laat zij los, en daarvan komt een mengsel van lucht en waterdamp, dat, zooals wij hierboven gezegd hebben, de kwikkolom doet dalen.

Het gelukt niet de lucht en het vocht, die aan de buis kleven, te verwijderen, door deze met kwik te vullen; men moet daarenboven het kwik, in de buis zelve, doen koken.

Daartoe plaatst men haar vol kwik, (zie fig. 99) met de geopende zijde naar boven gekeerd, op eenen hellenden rooster van ijzerdraad, men brengt er langzamerhand gloeijende

kolen bij, tot dat de koking begint. Wanneer men deze koking eenige minuten laat voortduren, worden de lucht en het

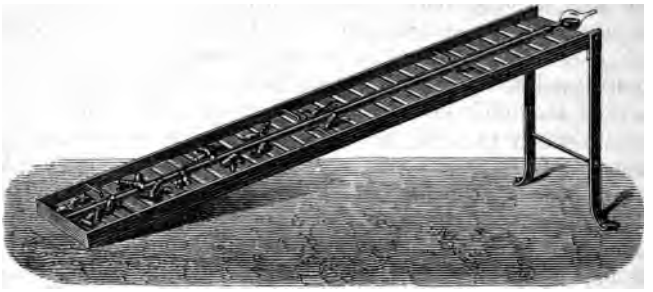


Fig. 99. Uitkoken van den Barometer.

vocht meêgenomen door de kwikdampen, die zich ontwikkelen.

Men ziet of een barometer goed gezuiverd is van lucht en vocht, door hem langzaam te doen hellen: het kwik komt dan bij het einde van de buis en slaat er tegen aan, met een droogen slag, gelijk aan dien van metaal, wanneer er geen lucht noch vocht in is, die de hevigheid van den stoot wijzigen: maar de slag is dof, wanneer er lucht of vocht in gebleven is.

122. **Voorkeur gegeven aan het kwik bij de samenstelling van barometers.** Het is gemakkelijk, rekenschap te geven van het gebruik van kwik bij de samenstelling van barometers. Daar het dichter is dan andere vloeistoffen, is er een kleinere hoogte van noodig om evenwicht met de dampkringslucht te maken. Bij voorbeeld, indien in de plaats van kwik water in de buis van den barometer gedaan werd, zou men, daar het water $13^1/_2$ maal minder dicht is dan kwik, eene hoogte noodig hebben $13^1/_2$ maal grooter dan 76 duim, de gewone hoogte van het kwik, d. i. ongeveer 10 Ned. ellen. De buis van den barometer moest dus dezelfde hoogte hebben, en dit zou bijna geheel onmogelijk in de toepassing zijn. Wat meer is, het water zou in het barometrisch luchtledig waterdamp doen ontstaan, die de kolom vocht zoude nederdrukken; dit nu heeft met het kwik niet plaats, omdat dit geen merkbaren damp *slaat bij de gewone* temperatuur der lucht.

123. **Gemiddelde barometerstand.** Wanneer men de hoogte an het kwik in den barometer waarneemt, merkt men op, oo als wij hier boven (zie 118) gezegd hebben, dat deze oogte gedurig veranderingen ondergaat, niet alleen van den enen op den anderen dag, maar ook op denzelfden dag. De gemiddelde barometer-hoogte aan de oppervlakte der ee, en dus ook in ons land is ongeveer 760 millimeters. De eranderingen van den barometer vermeerderen, naarmate men adert aan de polen der aarde: zij verminderen integendeel vanneer men nader bij den æquator komt.

Op onze breedte hebben zij het menigvuldigst plaats en kunen soms in één dag bijv. bij stormen 30 millimeters bedragen.

Daar de barometerstand van uur tot uur kan veranderen, oemt men *gemiddelde hoogte van een dag* die, welke men erkrijgt door de 24 hoogten, waargenomen van uur tot uur edurende een etmaal, op te tellen en deze weder door 24 te eelen. Nu heeft men waargenomen dat de gemiddelde hoogte an iederen dag ongeveer die van den middag is. Even zoo oemt men gemiddelde hoogte van het jaar die, welke men indt, door de som te nemen van de 365 gemiddelde hoogen van elken dag, waargenomen gedurende een geheel jaar, en deze som te deelen door 365. Aan de oppervlakte der zeeën, bij voorbeeld te Havre, te Vlissingen is, zooals wij zagen, de gemiddelde hoogte van het jaar 760 millim., te Parijs is zij iets minder, dat daardoor verklaard wordt, dat te Parijs de dampkringsdrukking minder is, daar het 34 meters hooger ligt dan de oppervlakte der zee.

124. **Oorzaken van de veranderingen in den barometerstand.** Omdat de barometerstand voortdurend verandert binnen zekere grenzen, moet men de gevolgtrekking maken, dat dit ook het geval is met het gewicht van den dampkring. Als de hoogte van de kwikkolom in de buis grooter wordt, hetgeen men uitdrukt door te zeggen dat *de barometer rijst*, is dit, zooals van zelf spreekt, een teeken dat het gewicht van den dampkring vermeerdert, en wanneer zij daalt, een teeken dat dit gewicht vermindert. Maar, daar de geheele massa lucht, die de aarde omvat, altijd dezelfde is, is het niet het gewicht van den ganschen dampkring dat verandert, maar alleen zijn gewicht op zekere gedeelten van de oppervlakte der aarde; zoodat, wanneer dit gewicht op ééne plaats

vermeerdert, het op eene andere vermindert: dit nu is hetgeen de barometer aanwijst; want als hij in eene landstreek rijst, neemt men waar, dat hij in eene andere, min of meer verwijderde, daalt.

Deze gedeeltelijke veranderingen van het gewicht van de massa lucht worden altijd veroorzaakt door veranderingen van temperatuur, die in den dampkring ontstaan. Deze veranderingen worden veroorzaakt door den invloed van de jaargetijden, overvloedige regens, en door dien van de richting der winden. Wanneer een gedeelte van den dampkring warmer wordt dan de nabij gelegen gedeelten, wordt de lucht daar uitgezet, wordt ligter, rijst en verspreidt zich verre over de omliggende landstreken. Het gewicht van den dampkring vermeerdert dus overal, waar de uitgezette lucht heengaat, vermindert integendeel dáár, waar de uitzetting plaats heeft. Indien daarentegen de lucht over eene zekere uitgestrektheid van den aardbol koud wordt, vloeit er, omdat de lucht daar dichter wordt, eene nieuwe hoeveelheid lucht toe, en daardoor vermeerdert het gewicht van den dampkring.

125. **Betrekking tusschen den barometerstand en den toestand van den dampkring.** Door den barometerstand met den toestand van den dampkring te vergelijken, heeft men waargenomen dat, in ons land, deze stand van den barometer over het algemeen boven de 760 millim. is, als het mooi weer is; onder dit punt, als het regent of waait, en eindelijk dat van een bepaald aantal dagen, waarop de barometerstand 760 millim. is, er even zoovele goed als slecht weer hebben. Naar deze samenstemming tusschen den staat van het weder en den barometerstand, heeft men de volgende aanteekeningen op den barometer gemaakt.

Hoogte.	Toestand van den dampkring.
731 strepen	storm.
740 —	veel regen.
749 —	regen of wind.
758 —	veranderlijk.
767 —	mooi weer.
776 —	bestendig.
785 —	zeer droog.

Bij de hierboven (fig. 92 en 98) beschreven barometers

zijn deze aanteekeningen gesteld op een metalen plaatje, boven aan de linkerzijde van de buis bevestigd. Het is dus voldoende, te zien met welke dezer aanteekeningen het kwik in de buis gelijk staat, om den vermoedelijken toestand van den dampkring te weten.

126. **Wijzer-barometer.** De wijzer-barometer is voornamelijk bestemd om goed en slecht weder aan te wijzen. Het is een hevel-barometer (zie 120), waarvan de kortste arm geopend is (fig. 101). Daar boven is eene kleine katrol, waarover een draad loopt, die twee kleine glazen bolletjes, met kwik gevuld, draagt. Het bolletje *a*, zwaarder dan het andere, tracht te dalen en doet dan het katrolletje van de linker- naar de rechterzijde draaijen; dit geschiedt telkens als het kwik in den kleinen arm daalt, d. i. telkens als de dampkringsdrukking vermeerdert. Daarentegen wanneer die drukking vermindert, rijst het kwik in den kleinen arm, terwijl het in den grooten daalt; het bolletje *a* wordt dus opgeheven, en het katrolletje draait van de rechter- naar de linkerzijde. Aan de as nu van het katrolletje is een wijzer bevestigd, die zich over eene wijzerplaat beweegt, zoo als fig. 100 dit doet zien. Op deze wijzerplaat zijn de woorden: *storm*, *veel regen*, *regen of wind* enz. door hunne beginletters aangegeven.

Wij hebben opgemerkt dat men over het algemeen weinig vertrouwen stelt in de opgaven van den barometer. Dit komt daardoor, dat de meeste dezer instrumenten, in de huizen der particulieren in gebruik, gebrekkig zijn. Door de onhandigheid van hen, die ze overbrengen, is er dikwijls eene vrij groote hoeveelheid lucht in het bovenste gedeelte, en hierdoor zijn de opgaven verkeerd. Maar als een barometer goed samengesteld is, moet men vertouwen stellen in zijne aanwijzingen. Zij zijn vooral zeer waarschijnlijk, wanneer men het kwik verscheidene dagen achtereen langzaam ziet rijzen of dalen. In het eerstgenoemde geval is men bijna zeker goed weer te krijgen, in het laatstgenoemde slecht. Wat de plotselinge veranderingen betreft, deze voorzeggen over het algemeen slecht weer en vooral hevigen wind.

De overeenstemming, die er in onze luchtstreek heerscht tusschen den barometerstand en den toestand van den dampkring, is gemakkelijk te verklaren. Door de zuide- en zuidweste winden, die de warmste zijn, wordt de lucht, die tot

ons komt, uitgezet. Buitendien heeft de lucht door ove zeeën te strijken veel waterdamp opgenomen, die minder is dan de lucht; om deze twee redenen weegt de dampl

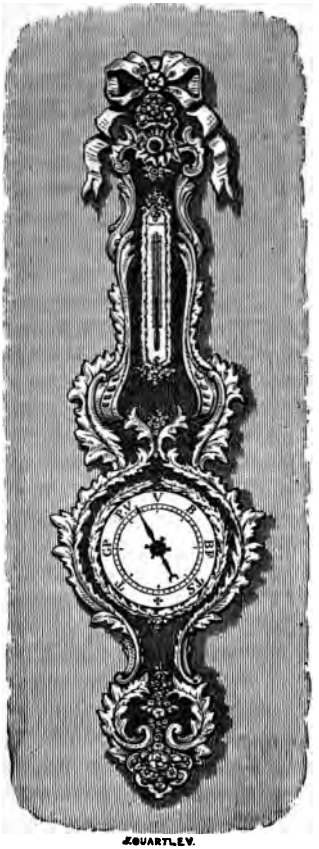


Fig. 100. Fig. 101.
Wijzer-barometer.

minder en daalt de barometer, terwijl te gelijker tijd d de lucht besloten dampen verdicht worden door de afkoelin regen overgaan. De noorde- en noord-ooste winden int

deel, die de koudste zijn, voeren ons eene dichtere lucht toe, die den barometer doet rijzen; maar daar deze winden over eene groote uitgestrektheid vast land gestreken zijn, zijn zij uitgedroogd en vergezeld van een zuiveren helderen hemel.

127. **Het meten der hoogte van bergen door den barometer.** Het belangrijkste gebruik dat men van den barometer gemaakt heeft is, dat men hem heeft toegepast op het meten van bergen. Wanneer men zich den dampkring voorstelt, verdeeld in horizontale lagen van dezelfde dikte, bijv. in honderd lagen, zal een barometer, op de oppervlakte van de zee, te Havre bijv., het gewicht van deze honderd lagen te dragen hebben; en wij hebben gezien (zie 123) dat, om in evenwicht hiermede te zijn, hij gemiddeld de hoogte van 760 millim. zal bereiken. Maar als men dezen barometer in den dampkring verheft, tot boven de tiende laag, zal hij niet meer dan het gewicht van de 90 lagen te dragen hebben, dat natuurlijk minder bedraagt, dan hetgeen hij vroeger droeg. Het kwik moet dus zakken in den barometer. Het zal nog meer zakken, wanneer men zich den barometer voorstelt, gebracht boven de twintigste laag, en zoo verder tot aan de grens van den dampkring, indien het mogelijk ware er den barometer te brengen. Daar zou het kwik geene drukking meer ondervinden, en de oppervlakte in de buis zou gelijk staan met die in het bakje.

Omdat de barometer daalt naarmate men zich verheft, kan men van de maat der daling de hoogte waarop men is boven de oppervlakte der zee afleiden. Als de lucht altijd den uitersten graad van dichtheid bezat, tot aan de uiterste grens van den dampkring, zou deze hoogte gemakkelijk kunnen berekend worden; want, daar de lucht ongeveer tien duizend maal minder weegt dan het kwik, zou men, indien de barometer één duim gedaald was, daaruit afleiden, dat de kolom lucht, die in evenwicht is met het kwik in de buis, tien duizend malen meer verminderd is, d. i. ongeveer 100 Ned. ellen; dat zou de hoogte zijn waarop men zich bevond. Maar daar de dichtheid van de lucht noodzakelijk afneemt, naarmate men zich verheft, omdat de luchtlagen een gewicht dragen dat hoe langer hoe minder wordt, is het meten van hoogten met den barometer niet zoo eenvoudig als wij zoo even stelden: niet dan door berekening kan de hoogte der

kwikkolom in den barometer leiden tot de maat van de hoogte der bergen. De gemiddelde barometerstand, die aan de oppervlakte der zee 0,761 Ned. el is, is te Parijs niet meer dan 0,756 Ned. el; waarvan men door berekening afleidt, dat de grond van Parijs 34 ellen boven de oppervlakte van de zee gelegen is.

128. **Hoogte van den dampkring.** De lucht, genomen op de oppervlakte van de aarde, weegt omstreeks 10400 maal minder dan het kwik; daaruit volgt, dat, als zij tot aan de grens van den dampkring altijd dezelfde dichtheid behield, er eene hoogte van 10400 maal 76 duim, of bijna 8000 ellen, noodig zou zijn, om tegen de kolom kwik in den barometer op te wegen. Maar daar de dichtheid van de lucht snel afneemt, naarmate men zich verheft, is er eene veel grootere hoogte van den dampkring noodig, om de kolom van den barometer in evenwicht te houden. Aan den eenen kant nu het afnemen van de dichtheid der lucht, in de hooge streken, in aanmerking nemende, en aan den anderen kant hare verdichting, die altijd toeneemt door de afkoeling, naarmate men stijgt, heeft men de hoogte van den dampkring vrij groot geschat. Eene hoogte van 60 à 70 mijlen heeft men afgeleid uit de waarneming der schemeringen (zie 106).

UITWERKSELEN VAN DE DAMPKRINGSDRUKKING.

129. **De dampkringsdrukking werkt in alle richtingen.** Men meene niet, dat de drukking van den dampkring, gelijk de zwaarte, slechts van boven naar beneden werkt; neen — de gassen even als de vloeistoffen hebben de eigenschap hunne drukking in alle richtingen voort te planten; hieruit volgt dat het gewicht van den dampkring zich, niet alleen van boven naar beneden, maar ook van ter zijde, en zelfs van beneden naar boven doet gevoelen. Een groot aantal proeven bewijst het: bij voorbeeld de Maagdenburger halve bollen (zie 114); men moge er in horizontale, zoo als men fig. 90 aanwijst, of in vertikale richting aan trekken, men vindt in beide gevallen, dat men dezelfde kracht noodig heeft, om hen te scheiden.

Men kan de waarheid, dat de dampkringsdrukking van beneden naar boven werkt, door de volgende proef bevestigen: *men vult een* gewoon bierglas met water, men dekt het

net een blad papier dat men er tegen aan houdt met de palm van de hand, terwijl men met de andere hand het glas omdraait; vervolgens de hand wegnemende, die het papier steunde, ziet men, dat het glas vol blijft, daar het water en het papier worden opgehouden door de drukking die van beneden naar boven werkt (fig. 103). Zonder het blad papier zou het water in het glas zich verdeelen om de lucht te laten intreden, en zou de proef niet gelukken. Het gebruik van den steek-hevel, waarvan zich de wijnkoopers bedienen om wijnen te proeven, is ook gegrond op de werking van de dampkringsdrukking. Het is eene blikken buis (fig. 102), aan het benedeneinde in een kleinen kegel uitloopende, waarvan het einde *o* geopend is; aan het andere einde is eene kleine opening die met den duim gesloten wordt. Wanneer beide einden open zijn, dompelt men de buis in een vat, met wijn gevuld, waar zij door de onderste opening vol wordt, tot op de hoogte van den wijn in het vat. Als men

Fig. 102. Steek-hevel.

Fig. 103. Werking van de dampkringsdrukking.

nu, gelijk in bijstaande figuur aangetoond wordt, het bovenste eind met den duim sluit en de buis terug trekt, blijft zij vol door de drukking die op *o* werkt. Maar indien men den den duim er afneemt en de buis nu boven een glas houdt, loopt de vloeistof, daar nu de dampkringsdrukking evenzeer van boven als beneden werkt, dadelijk weg, en wordt in het glas opgevangen.

130. **Drukking die het menschelijk ligchaam ondervindt.** Daar wij gezien hebben, dat de drukking der atmospheer op één vierkanten duim gelijk is aan 1,033 kilogrammen (zie 116) kunnen wij begrijpen, dat de atmospherische druk, die

ligchaam te doorstaan heeft, vrij aamerkelijk moet wezen. Om deze drukking te berekenen behoeft men slechts te weten, dat voor een mensch, van gewone grootte en omvang, de geheele ligchaam-oppervlakte nagenoeg gelijk is aan een en een halven vierkanten meter, dat is te zeggen 15000 vierkante duimen. De geheele drukking door het menschelijk ligchaam gedragen is dus gelijk aan 15000 maal 1,033 kilogrammen, dus ongeveer aan 15500 kilogrammen.

Maar, zal men zeggen, hoe komt het dan dat wij niets van deze vreeselijke drukking gewaar worden? Hoe komt het, dat wij er niet door verpletterd worden? Dit komt vooreerst hierdoor, dat, gelijk in de vorige paragraaf is aangetoond, die drukking zich gelijkelijk in alle richtingen voortplant, dat zij op ons werkt van boven, van beneden, van ter zijden, en zoodoende die drukking zich zelve opheft. In één woord, wij bevinden ons in de lucht als een duiker in het water, gedrukt naar ééne zijde, maar tegengehouden door den druk van de andere zijde. Dit is dan ook de reden waarom wij dien druk op een punt van ons ligchaam niet meer gevoelen dan op een ander; maar dit verklaart nog niet, waarom wij niet plat gedrukt worden tusschen deze drukkingen als tusschen de bladen eener pers. Dat wij wederstand kunnen bieden ligt in de elasticiteit van eenige gassen, die zich bevinden in het bloed ge. het weefsel der spieren en in één woord in al onze organen.

Fig. 104. Gevolg van de atmospherische drukking op het menschelijk ligchaam.

Deze gassen zijn wel is waar samengedrukt door het gewicht der atmospheer, maar zij bieden weerstand door hunne veerkracht, zoo dat ons ligchaam in dit opzicht te vergelijken is met een met lucht gevulden beker. De wanden van dezen laatsten worden van buiten naar binnen gedrukt door het gewicht der atmospheer; maar hoe dun zij ook zijn, zij bieden weerstand, omdat de lucht, die den beker vult, de wanden van binnen naar buiten drukt ten gevolge van hare elasticiteit, met eene kracht juist gelijk aan die welke van buiten werkt.

Om aan te toonen, dat er zich gassen bevinden in het spierweefsel en dat deze gassen door den druk der atmospheer zijn samengeperst, doet men de volgende proef. Men neemt eene groote glazen buis, open aan beide einden, met een dikken rand, om de hand van den proefnemer niet te kwetsen. Deze buis plaatst men op de plaat van een luchtpomp en sluit het boveneind met de palm der hand zooals fig. 104 aantoont. De lucht, die onder de hand is opgesloten, maakt eerst evenwicht met de drukking van buiten van de atmospheer en men wordt op de hand geene de minste drukking gewaar. Maar zoo een ander de lucht, die in de buis is, verdunt, merkt men eene sterke drukking op de hand en men kan haar niet dan met moeite weg trekken. Ook ziet men dat de handpalm opzwelt en dat het bloed door de poriën aan de huid tracht te ontwijken, daar de uitzettingskracht der gassen, die in het spierweefsel aanwezig zijn, niet meer door de luchtdrukking tegengewerkt wordt.

Uit de zoo even genoemde proef zoude men kunnen opmaken, dat, zoo men eene hand op eenig voorwerp gelegd had, men die niet meer zoude kunnen opligten ten gevolge van de drukking der lucht; maar hier heeft men onder de hand geene verijlde lucht; tusschen de hand en het ligchaam vindt men eene zeer dunne laag lucht, die door hare elasticiteit evenwicht maakt met de atmospherische drukking, en hierdoor ondervindt men geen weerstand, als men de hand opligt.

De koppen of kopglazen, die men in ziekten gebruikt, zijn eene toepassing van de gevolgen der drukking van de atmospheer op het menschelijk ligchaam en van de elasticiteit der gassen, die zich in onze weefsels bevinden, welke gassen zijn: koolzuur, zuurstof en sporen van stikstof.

HOOFDSTUK II.

MAAT VAN DE SPANKRACHT DER GASSEN.

131. **Wet van Mariotte.** Wij hebben gezien, dat een onderscheidend kenmerk van de lucht en van alle gassen gelegen is in hunne samendrukbaarheid en in hun uitzettingsvermogen. Wij moeten nu nog de wet leeren kennen volgens welke deze samendrukbaarheid zich regelt, dat wil zeggen in welke reden het volume van een gas toe- of afneemt ten gevolge van verminderde of vermeerderde drukking.

De abt Mariotte, een fransch natuurkundige te Parijs in 1684 overleden, heeft het eerst deze wet gevonden, dat *het volume van een gas omgekeerd evenredig is aan de drukking welke het doorstaat:* dat wil zeggen dat bij het twee- of driemaal grooter worden van de drukking, het volume twee- of driemaal kleiner wordt; en dat bij het twee- of driemaal minder worden van de drukking, het gas ten gevolge van zijne expansief-kracht een twee- of drievoudig volume verkrijgt. Deze wet noemt men *de wet van Mariotte.*

Om deze wet te bewijzen maakte Mariotte gebruik van eene buis, naar hem *de buis van Mariotte* genaamd. Zij bestaat in eene U-vormige omgebogen buis met ongelijke armen, zoo als wij in fig. 105 en 106 zien. Hier is, juist omgekeerd als bij den hevel-barometer, de *kleine* arm gesloten en de *groote* open. Langs den grooten arm vindt men eene schaal in centimeters, die de hoogte van het kwik aanwijst dat men er ingiet. Langs den kleinen arm vindt men ook eene schaal welke tien, van inhoud gelijke, ruimten aanwijst. Eindelijk draagt men nog zorg dat de nulpunten op beide schalen overeenkomen. Men begint nu met een weinig kwik in de buis te gieten tot dat het niveau in beide armen even hoog staat en met de nulpunten der schalen overeenkomt, zie fig. 105. In dezen toestand staat een kleine massa lucht in den korten arm onder de drukking van de atmospheer buiten de buis, en daar het niveau in de beide armen gelijk is, is deze druk gelijk aan ééne atmospheer. Giet men nu langzamerhand kwik in den langsten arm, dan wordt de lucht in den kleinsten meer en meer samengedrukt en neemt daardoor in volume af, zoo als fig. 106 aantoont, en neemt men dan de kwikkolom in den langen arm tusschen het niveau C en den

op A, dan vindt men dat deze hoogte juist gelijk staat met de hoogte van den barometer op het oogenblik van de proefneming. De drukking, welke deze kolom kwik AC uitoefent

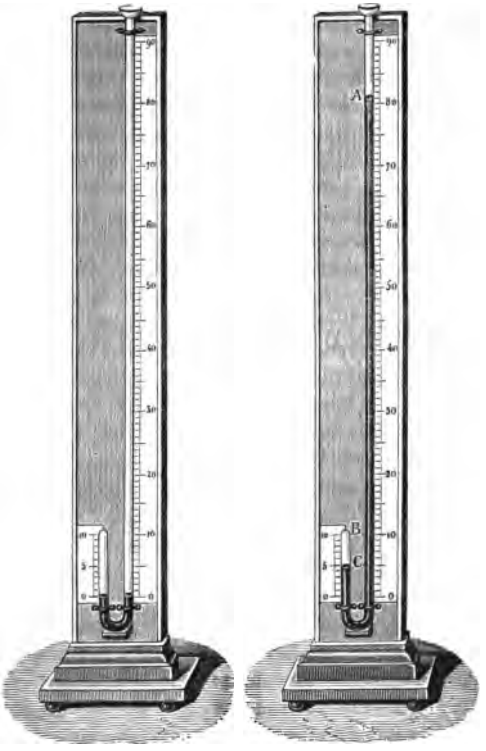


Fig. 105. Fig. 106.
Buis van Mariotte om de wet der samendrukbaarheid van de gassen aan te toonen.

op de lucht in den kleinen arm, is dus gelijk aan de drukking van ééne atmospheer, en daar deze kolom zelf bij A de drukking van ééne atmospheer te dragen heeft, volgt hieruit, dat op het oogenblik, dat het volume B C tot de helft is teruggebracht, de geheele drukking, die het te doorstaan

heeft, gelijk is aan *twee* atmospheren, dat is te zeggen tweemaal zoo groot als bij het begin van de proef. Men vindt, dat bij eene drukking van drie atmospheren het volume driemaal kleiner is geworden en zoo vervolgens, hetgeen de wet van Mariotte bewijst.

In de hierboven aangehaalde proef heeft men het gas onderworpen aan eene drukking hooger dan die eener atmospheer, maar men kan de wet van Mariotte ook voor lagere drukking bewijzen. Hiertoe maakt men gebruik van een diepen bak, die bestaat uit een glazen vat P (fig. 107) waaraan men een wijde buis M heeft bevestigd. Heeft men dezen bak met kwik gevuld, dan dompelt men er eene barometer-buis met het open einde in; deze buis is verdeeld en ongeveer $^2/_3$ met kwik gevuld, het overige bevat lucht. Men dompelt nu deze buis zoover in den bak tot het niveau van het kwik binnen en buiten de buis gelijk is. Het volume lucht A B staat nu onder den druk van ééne atmospheer; men meet dit volume door de verdeelde buis en vindt bijv. 20 verdeelingen. Daarop trekt men langzamerhand (zie fig. 108) de buis uit den bak, tot dat het volume A C tweemaal zoo groot is als A B, dat wil zeggen 40. — Daar de kracht van uitzetting, de tensie, verminderd is naarmate het volume vermeerderde, heeft de atmospherische druk buiten, in de buis eene kolom kwik doen rijzen C D, die op het oogenblik, dat het volume lucht verdubbeld is, eene hoogte verkrijgt juist half zoo groot als die in den barometer op het oogenblik van de proef. De lucht in de buis staat dus onder de drukking van slechts eene halve atmospheer, hetgeen doet *zien dat, wanneer* de lucht onder eene drukking komt twee-

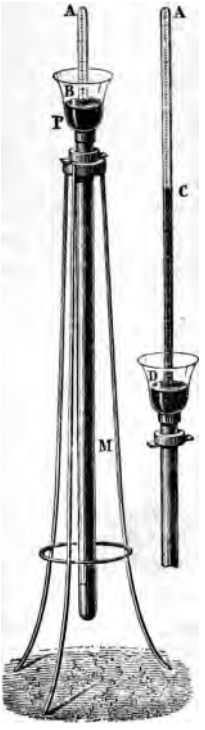


Fig. 107. Fig. 108.

maal minder dan te voren, het volume tweemaal grooter wordt.

Mariotte heeft deze wet *algemeen* gegeven, dat wil zeggen toepasselijk op alle gassen en alle drukkingen: maar vele natuurkundigen hebben later aangetoond dat alle gassen niet evenzeer samendrukbaar zijn en dat voor de niet permanente gassen de wet van Mariotte te minder doorgaat naarmate zij meer den vloeibaren staat naderen. Wat de lucht aangaat hebben Dulong en Arago de wet van Mariotte tot op 27 atmospheren getoetst.

Maar de wet van Mariotte komt toch der waarheid zeer nabij en men kan zeggen, dat voor hetzelde gas *de dichtheid toeneemt in dezelfde reden als de drukking.*

Verder moeten wij nog doen opmerken, dat bij het samendrukken van een gas zijne kracht van uitzetting noodzakelijk gelijk moet zijn aan de drukking welke het draagt. Hieruit vloeit voort, dat deze kracht van uitzetting, deze tensie, zelf in omgekeerde reden is met het volume, dat het gas heeft aangenomen. Is zijn volume twee- of driemaal kleiner geworden, dan is integendeel zijne tensie twee- of driemaal grooter geworden. Bij de blaasbalgen bij voorbeeld, waarvan men zich bedient om vuur aan te blazen, wordt de ruimte die tusschen de twee houten bladen aanwezig is, verminderd door deze nader bij elkander te brengen; hierdoor verkrijgt de daar tusschen bevatte lucht een tensie, die haar in staat stelt de atmospherische drukking te overwinnen en aldus met een snellen stroom door de blaaspijp te ontwijken.

132. **Manometers.** Men noemt *Manometers* die instrumenten, welke dienen om de spankracht van gassen en dampen te meten. De naam wordt afgeleid van twee grieksche woorden, die *dun*, *ijl* en *meten* beteekenen. Men onderscheidt twee soorten: den manometer met vrije luchtdrukking en den manometer met samengeperste lucht.

Manometer met vrije luchtdrukking. In fig. 109 zien wij een manometer met vrije lucht voorgesteld, die op een houten plank tegen een muur bevestigd is en in verbinding staat met eenen stoomketel. Hij bestaat uit een glazen buis B, ongeveer 6 meters lang, open aan het boveneinde en onderaan gesoldeerd aan een bak C, die kwik bevat. Van dezen bak gaat *een lange buis* naar den stoomketel A.

Wanneer nu de spankracht van den stoom in den ketel gelijk is aan de atmospherische drukking, dan maakt deze kracht evenwicht met het gewicht der atmospheer, dat zich voortplant door de buis B, en het kwik-niveau is dan gelijk

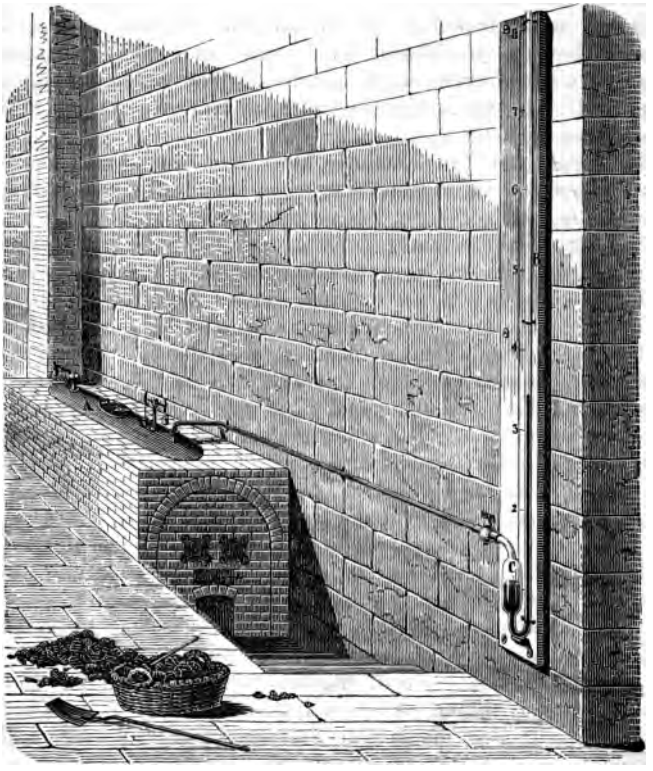


Fig. 109. Manometer met vrije luchtdrukking.

èn in de buis èn in den bak. Naast dit niveau schrijft men nu op de plank het cijfer 1. Vervolgens, daar eene kwikkolom van 76 centimeters de drukking van ééne atmospheer voorstelt (zie 114), plaatst men 76 centimeters hooger (altijd *van 1 uitgaande)* het cijfer 2; wederom 76 centimeters hoo-

ger plaatst men het cijfer 3 en zoo vervolgens altijd van 76 tot 76 centimeters, daar iedere tusschenruimte dan ééne atmospheer geldt. Indien nu de stoom, het kwik in den bak drukkende, dit voortgeperst heeft, bij voorbeeld tot het cijfer $3^1/_2$, zoo als onze figuur doet zien, dan wijst dit naar deze wijze van verdeeling aan, dat de spankracht van den stoom in den ketel is van drie en een halve atmospheer; dat wil zeggen, dat op elken vierkanten centimeter oppervlakte van den binnenwand van den ketel de drukking gelijk is aan drie en een half maal 1,033 kilogrammen.

Manometers met samengeperste lucht. Dit instrument, gegrond op de wet van Mariotte, bestaat uit eene glazen buis van 50 tot 80 centimeters lengte (zie fig. 110). Het boveneinde is gesloten en het ondereinde staat in verbinding met een kwikbak. Deze bak, geheel en al gelijk aan dien van den manometer met vrije luchtdrukking, is ook door eene lange buis met het vat verbonden, dat het gas of den stoom bevat, waarvan men de spankracht wil meten.

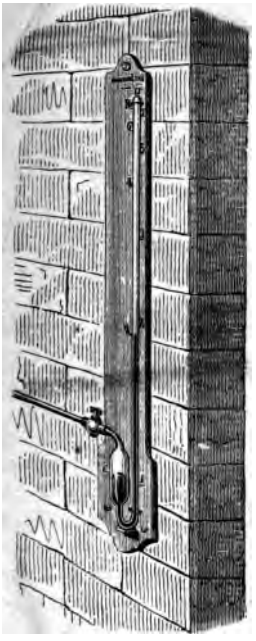


Fig. 110. Manometer met samengeperste lucht.

De buis *a b* bevat zooveel lucht, dat wederom het kwik-niveau in de buis gelijk staat met dat in den bak, wanneer in dezen het kwik onder de drukking van ééne atmospheer is. Door grooten druk wordt het kwik bijv. tot *b* in de buis geperst en het volume lucht, eerst gelijk aan den inhoud der buis, beslaat nu slechts het bovenste gedeelte *a b*. Om de drukking te leeren kennen, die op *c* wordt uitgeoefend, moet men bij het gewicht der kwikkolom, die zich in de buis verheft boven het niveau in den bak, optellen de spankracht der lucht in *a b* bevat, welke tensie wij naar de *wet van Mariotte* kunnen berekenen, als wij de

vermindering van volume in aanmerking nemen, welke de lucht, in den manometer bevat, ondergaan heeft. Eene schaal naast de buis wijst in atmospheren de som der drukking aan van de opgedreven kolom kwik en van de spanning der lucht *a b* en doet ons bij gevolg de drukking kennen, die op het kwik in den bak uitgeoefend wordt.

DIFFUSIE EN OPLOSBAARHEID DER GASSEN.

133. **Wet van de menging van Gassen. (Diffusie).** Wij hebben gezien (fig. 68) dat vloeistoffen, zoo zij geene scheikundige werking op elkander uitoefenen of zich niet vermengen, steeds trachten zich van elkander te scheiden en zich te plaatsen in rangorde van hare dichtheid. Met de gassen heeft dit niet plaats: zij gehoorzamen steeds aan hun uitzettingsvermogen en volgen bij hunne vermenging de volgende wetten:

1°. *Welke ook de dichtheid van de gassen zij, zij mengen zich steeds in gelijke verhouding in al de gedeelten der vaten, waarin zij bevat zijn.*

2°. *Het uitzettings-vermogen van het mengsel is gelijk aan de som van het uitzetings-vermogen van de gemengde gassen.*

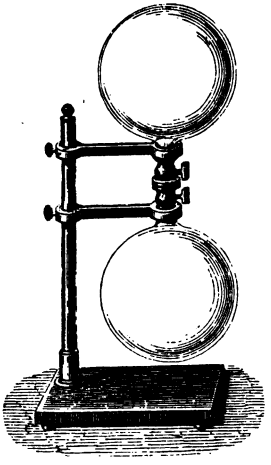


Fig. 111. Proef van Berthollet.

Berthollet, beroemd fransch scheikundige, overleden in 1822, heeft de eerste wet door de volgende proef bewezen. Hij nam twee glazen bollen van denzelfden inhoud en verbond die door eene buis, welke van kranen voorzien was. Den eenen bal vulde hij met waterstof, het ligtste gas dat bekend is, den anderen met koolzuur, een zeer zwaar gas, en stelde ze beiden zoo als wij in fig. 111 zien, in de kelders van het observatorium te Parijs. Deze kelders zijn zeer diep, zoodat de temperatuur aldaar het geheele jaar door gelijk blijft. Toen de bollen en de daarin bevatte gassen de omringende *temperatuur hadden* aangenomen opende hij de kranen. Na

korten tijd vond men dat de beide gassen, niettegenstaande hun verschil in dichtheid, zich gelijkelijk in beide ballons gemengd hadden.

Uit deze proef besluit men, dat de lucht (een mengsel van stikstof en zuurstof, twee gassen van verschillende dichtheid) op alle hoogten van de atmospheer van dezelfde samenstelling moet zijn: en werkelijk wordt dit ook door de waarneming bevestigd.

134. **Wet van de oplosbaarheid der gassen in vloeistoffen.** De gassen mengen zich met water en andere vloeistoffen, lossen er in op. Maar de hoeveelheid, die opgelost wordt, hangt af van de natuur van het gas, van de drukking en van de temperatuur. Bij de gewone drukking en temperatuur lost water ongeveer $^1/_{32}$ van zijn volume zuurstof op, een gelijk volume aan het zijne van koolzuur, en 450 maal zijn volume ammoniak-gas. Het oplossen van gassen in vloeistoffen is aan de drie volgende wetten gebonden:

1°. *Voor eene zelfde temperatuur en eene zelfde vloeistof is het gewicht van het opgeloste gas evenredig aan de drukking.*

2°. *Het gewicht der opgeloste gassen is des te aanzienlijker naarmate de temperatuur lager is.*

3°. *De hoeveelheid gas, welke door eene vloeistof wordt opgelost, is onafhankelijk van de natuur en de hoeveelheid van de andere reeds opgeloste gassen. In andere woorden: elk gas wordt opgelost alsof het alleen ware.*

De eerste wet wordt toegepast in de nijverheid bij het vervaardigen van gashoudende wateren, bijzonder koolzuur houdende wateren. Door perspompen doet men in het water eene overmaat van koolzuurgas oplossen en deze oplossing wordt verder in flesschen of kruiken, die bijzonder goed gesloten zijn, aan de verbruikers aangeboden.

Het koolzuurgas in oplossing in schuimend bier, in Champagne-wijn en in alle andere schuimende wijnen voorhanden is oorzaak van den knal, die het ontkurken van zulke flesschen vergezelt; want het in overmaat opgeloste gas (onder groote drukking) maakt zich weder vrij nu de drukking vermindert bij het ontkurken der flesch.

HOOFDSTUK III.

TOESTELLEN DIE OP DE EIGENSCHAPPEN DER LUCHT EN OP DE ATMOSPHERISCHE DRUKKING BERUSTEN.

135. **Luchtpomp.** De *luchtpomp* is een werktuig, waarvan wij ons bedienen om eene gegevene ruimte luchtledig te maken, zoo als wij reeds in vele proeven gezien hebben, of liever om daarin de lucht te verdunnen; want men kan er geen volkomen luchtledig door verkrijgen. Dit werktuig werd

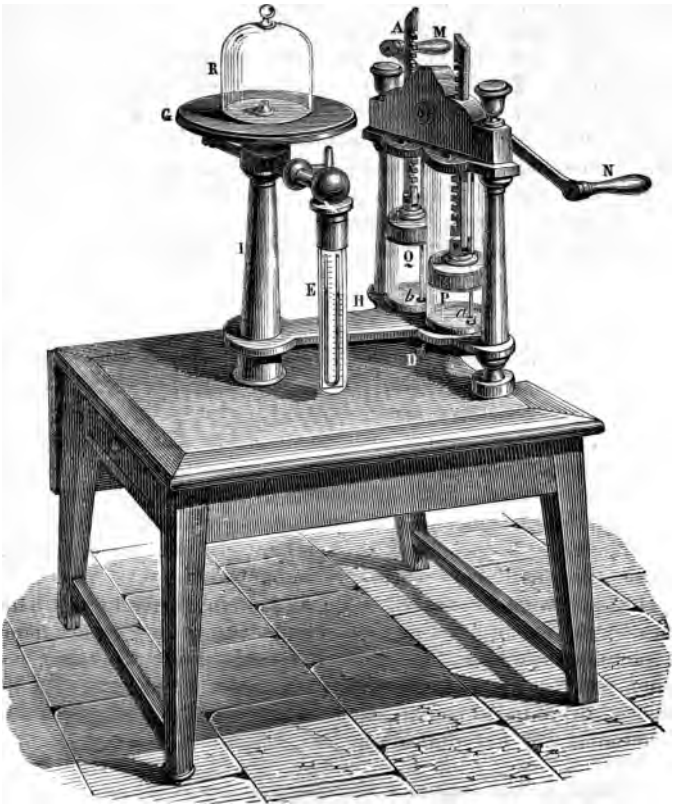


Fig. 112. Luchtpomp.

uitgevonden door Otto van Guericke, burgemeester van Maagdenburg, in 1650, kort nadat Torricelli (zie 115) het ijdel in eene buis verkregen had. Wij zien in fig. 112 in perspectief eene teekenning van de luchtpomp; fig. 113 geeft ons eene lengte-doorsnede en fig. 114 eene overlangsche.

Dit werktuig bestaat uit twee glazen pompcylinders, waarin twee lederen zuigers P en Q op en neer kunnen gaan, die

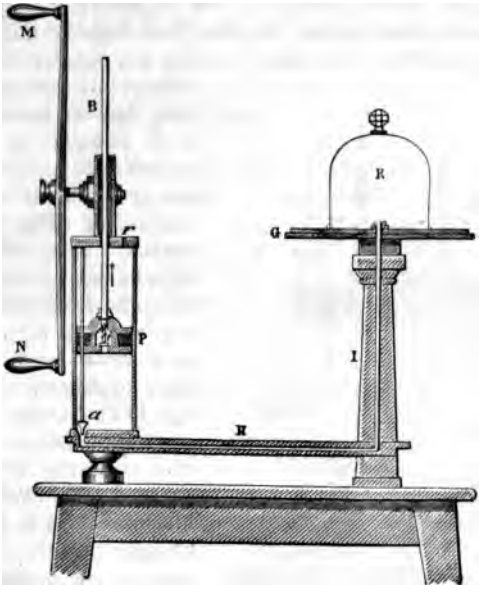


Fig. 113. Lengte-doorsnede van de luchtpomp.

met olie doortrokken zijn, goed tegen de wanden der cylinders passen en ze dus hermetisch sluiten. Aan deze zuigers zijn twee getande staven A en B bevestigd, in welker tanden een klein rondsel K (zie fig. 114) grijpt. Men doet dit rondsel beurtelings van links naar rechts en van rechts naar links gaan door middel van eene kruk M N, zoodat de eene zuiger rijst als de andere daalt.

De beide pompcylinders zijn vast gecement op een koperen voetstuk *H, dat ook nog* eene kolom I draagt, waarboven

Al wat wij van dezen pompcylinder zeiden is ook toepasselijk op den anderen. Het werktuig zoude met éénen cylinder kunnen werken en inderdaad zoo was de eerste luchtpomp, die men maakte, samengesteld. Gebruik makende van twee pompcylinders kan men sneller eene verijling verkrijgen en buitendien, daar de atmospherische drukking evenwicht maakt op de twee zuigers, ondervindt men minder weerstand bij hunne beweging. Hawksbee, engelsch natuurkundige, voerde deze laatste het eerst in.

136. **Verklikker van de luchtpomp.** Daar men door de luchtpomp nimmer het volkomen luchtledig onder den recipiënt kan verkrijgen, maar de lucht aldaar alleen meer of min verijld is, is het van belang te weten tot hoever die verijling van de lucht is gekomen, wanneer men een zekeren tijd gepompt heeft. Daarom maakt men aan de kolom, die den recipiënt draagt, eene glazen klok D (zie fig. 112), die met haar boveneinde gemeenschap heeft met de buis, die door het midden van de kolom I gaat. In deze klok vindt men eene gelijk-armige omgebogen buis, welke men *verklikker* noemt; zij is inderdaad een hevel-barometer, die in plaats van 80 centimeters er slechts 20 heeft. De arm links op de teekening is gesloten, de andere is open. Eindelijk vindt men bij de buis een metalen schaaltje, dat in millimeters is verdeeld. Daar het nulpunt der schaal het midden van de twee armen is, volgt hieruit eene dubbele verdeeling, de eene naar beneden, de andere naar boven, als bij den barometer van Gay-Lussac.

Hebben wij nu den gesloten arm met kwik gevuld, dan houdt de lucht, die in den recipiënt R en in de klok E bevat is, zoolang zij genoegzame spanning heeft, het kwik in dezen arm op: maar heeft men een zeker aantal zuigerslagen gedaan, dan wordt de lucht ijler en maakt door hare spanning geen evenwicht meer met de kolom kwik in den gesloten arm. Het daalt dus in dezen arm en rijst in den anderen. Hoe meer slagen men met de pomp doet, des te minder verschil verkrijgt men in het kwik-niveau in de beide armen; maar nimmer verkrijgt men juist hetzelfde niveau in de beide armen; het kwik staat altijd minstens 1 of 2 millimeters hooger in den gesloten dan in den open arm. Dit drukt men uit door te zeggen: *men heeft een luchtledig verkregen tot 1 of 2 millimeters.*

137. **Verschillende proeven met de luchtpomp.** Wij hebben reeds talrijke proeven met de luchtpomp beschreven, als daar zijn: die van kwikregen (zie fig. 1), van den val der lichamen in het luchtledige (zie fig. 37), van de blaas in het luchtledige (zie fig. 86), van de berstende blaas (zie fig. 88) en eindelijk van de Maagdenburger halve bollen (zie fig. 90.)

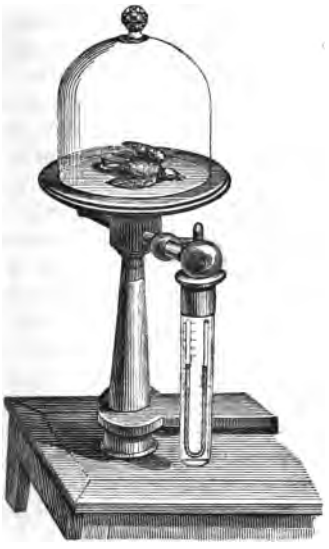


Fig. 115. Bezwijming in het luchtledige.

Eindelijk dient de luchtpomp ons ook nog om te bewijzen, dat de lucht door haar zuurstofgehalte in staat is de verbranding en het leven te onderhouden. Plaatst men bij voorbeeld onder den ontvanger eene brandende kaars, dan verzwakt de vlam meer en meer naar gelang de lucht ijler wordt, en eindelijk gaat zij geheel uit. Zoo valt ook een dier, een vogel bij voorbeeld, onder den ontvanger bezwijmd neder, zoodra men de lucht verdunt (zie fig. 115). De zoogdieren en vogels sterven dadelijk in het luchtledige, de visschen en reptiliën kunnen langer het gemis der lucht doorstaan; insecten leven nog na zelfs dagen in het luchtledige te hebben doorgebracht.

138. **Toepassing van het luchtledige op de bewaring van voedingsmiddelen.** Eene belangrijke toepassing van het luchtledige heeft men gemaakt op de bewaring van voedingsmiddelen. In de lucht, onder den invloed der warmte, der vochtigheid en der zuurstof, gaan deze stoffen spoedig tot gisting en rotting over. Belet men de toetreding der zuurstof, òf door een luchtledig te maken òf op eene andere wijze, dan kan men deze stoffen lang frisch bewaren.

Appert te Parijs was de eerste die in 1809 het middel

leerde kennen om voedingsmiddelen te bewaren in het luchtledige, of juister gezegd, in eene ruimte vrij van zuurstof, dat hier op hetzelfde neerkomt. Volgens zijne wijze van doen worden de stoffen, die men bewaren wil, in een glazen flesch gedaan, de flesch wordt goed gevuld en goed gekurkt en in een waterbad geplaatst, dat men warm maakt en eenigen tijd kokend houdt Onder den invloed der warmte wordt de weinige zuurstof, die nog in de flesch aanwezig was, door de organische stoffen opgenomen, zoodat er niets overblijft in vrijen staat dan stikstof, een gas, dat de gisting niet kan te voorschijn roepen. Wat men aldus bereid heeft, blijft tot 20 jaren zonder bederf. Tegenwoordig gebruikt men gewoonlijk blikken bussen in plaats van flesschen.

In Engeland heeft men de manier van Appert gewijzigd. In plaats van de spijzen in hermetisch gesloten bussen te doen koken, maakt men in het deksel van deze een klein gaatje, waaruit de dampen, die bij de koking ontstaan, kunnen ontwijken, en te gelijker tijd ook de lucht, die nog in de bussen aanwezig was, welke met de dampen meegevoerd wordt. Als men denkt, dat al de lucht uitgedreven is, laat men op het gaatje in het deksel een droppel gesmolten lood vallen en sluit zoodoende de opening. Op deze wijze houdt men op de schepen vleesch en groenten versch, dat veel tot gezondheid der bemanning bijdraagt.

139. **Luchtperspomp.** De *luchtperspomp* is een toestel, dat dient om de lucht samen te persen. Voorgesteld in fig. 116, heeft het veel overeenkomst met de luchtpomp. Even als deze heeft het twee pompcylinders en een ontvanger. Deze cylinders zijn van koper of van dik glas om sterk te kunnen zijn, en de recipiënt is een glazen cylinder met dikke wanden, welke aan weerszijden gesloten wordt door sterke koperen platen, die stevig tegen de afgeslepen randen van den cylinder geperst worden door vier koperen bouten met moeren. Om ongelukken te voorkomen bij het breken van den cylinder, door de te groote spanning van de samengeperste lucht, heeft men dezen voorzien van een ijzeren vlechtwerk, om de scherven, die anders ver weg geworpen zouden worden, tegen te houden. Tusschen de pompcylinders eindelijk en den recipiënt vinden wij een kleinen manometer met samengeperste lucht *(zie 132)*, welke uit een cylindrisch met kwik gevuld

bakje *m* bestaat, waarin eene met lucht gevulde buis met het open einde gedompeld is.

Om nu de werking van de machine te begrijpen moeten wij hier nog bijvoegen, dat binnen in de zuigers en beneden in de pompcylinders vier kleppen gevonden worden, geheel gelijk aan die van de luchtpomp, maar zich in tegengestelden zin openende, dat is te zeggen, van boven naar beneden. Dalen de zuigers, dan sluiten zich hunne kleppen, terwijl die, welke beneden in de pompcylinders aanwezig zijn, zich openen; waaruit volgt dat de lucht, die in deze bevat is, naar den recipiënt geperst wordt. In het geval echter dat de zuigers rijzen, sluiten zich de beneden geplaatste kleppen

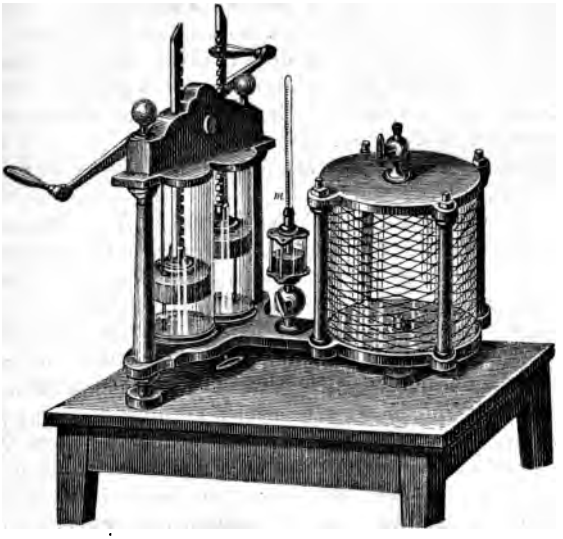


Fig. 116. Luchtperspomp.

en daardoor kan de lucht uit den recipiënt niet in de pompcylinders terugkeeren: maar, daar te gelijker tijd de kleppen der zuigers zich openen door de atmospherische drukking, komt er eene nieuwe hoeveelheid lucht in den pompcylinder, welke massa lucht door den volgenden zuigerslag naar den recipiënt *gedrongen zal* worden, en zoo vervolgens. Hierdoor

neemt de massa lucht en bij gevolg ook hare spanning in den recipiënt steeds toe. De spanning kan men in atmospheren afmeten, door middel van den manometer, wiens voet gemeenschap heeft met de buis, die van de pompcylinders tot den recipiënt gaat

De samengeperste lucht biedt de volgende verschijnselen aan. Eene kaars brandt daarin met meer kracht; dit kan men hieruit verklaren, dat bij gelijk volume lucht de hoeveelheid zuurstof meerder is. Dieren in samengeperste lucht gebracht schijnen er geen hinder van te hebben. Om onder water te kunnen werken, hebben werklieden zich ook wel in toestellen met zelfs tot 3 atmospheren samengeperste lucht bevonden, zonder dat zij er eenigen hinder van hadden, dan alleen een sterk geruisch in de ooren, en dit had nog alleen plaats op het oogenblik als de drukking begon of ophield, en verdween dadelijk als er evenwicht was gekomen tusschen de spanning van de lucht, in het gehoor-orgaan aanwezig, en de spanning van de lucht daarbuiten.

140. **Fontein van Heron.** De *Fontein van Heron* is een toestel, waardoor men gedurende eenige uren kunstmatig eenen stadigen sprong van water kan verkrijgen. Zij is uitgevonden door Heron van Alexandrië, 120 jaren vóór onze jaartelling, en bestaat uit twee glazen bollen, die door twee koperen buizen verbonden zijn, en waarboven zich een koperen bakje bevindt (zie fig. 117). In den bodem van dit bakje is eene opening, waardoor een kort buisje gaat, dat tusschen de beide andere gelegen is en waaruit de waterstraal moet komen. Men begint met dit buisje weg te nemen en door de opening, die nu ontstaat, den bovensten bol met water te vullen. Na dit gedaan te hebben, brengt men het buisje weer op zijne plaats en giet water in den bak. Daar de lange buis, die men links op de teekening ziet, van den bak naar den ondersten bol gaat, komt het water in dezen en verjaagt de lucht, die zich daar bevindt, door haar weg te dringen door de rechtsche buis heen naar den bovensten bol. De spanning van de in dezen bol bevatte lucht wordt dus vermeerderd door het gewicht van de kolom water, dat uit den bak in den ondersten bol geraakt, en de vloeistof springt met kracht uit de middelste buis op, zoo als onze teekening aantoont. En daar *het opspringende* water in den bak terugvalt, wordt deze ge-

stadig gevuld naarmate het water, dat hij bevat, zich naar den ondersten bol begeeft. Hieruit volgt dat de fontein blijft springen tot dat de bovenste bol ledig is.

Fig. 117. Fontein van Heron.

141. **Intermitterende fontein.** De *intermitterende fontein* toont ons de gevolgen van de atmospherische drukking en van de spanning der lucht aan. Zij bestaat uit een glazen bol *a* (zie fig. 118) vol water en gedragen door eene sterke holle *glazen buis d. De bol*, boven door een glazen stop gesloten,

heeft beneden twee uitmondingspijpjes van kleinen diameter, die steeds open zijn en toch slechts eene afgebroken uitstrooming aan het water uit den bol veroorloven. Zie hier de

Fig. 118. Intermitterende fontein.

reden: de buis *d*, aan beide einden open, strekt zich uit tot het bovenste gedeelte van den glazen bol; van boven is zij bevestigd in een ring *c*, die midden in een groot vat staat. In dezen ring nu zijn vele gaatjes, die aan de lucht gelegenheid geven om door de buis in den bol *a* te geraken. Naarmate nu het water uit dezen wegloopt, komt de lucht door de *openingen in c* binnen; en daar zoo de drukking van binnen

dezelfde blijft, houdt ook de uitstrooming aan. Maar langzamerhand rijst het niveau in het groote vat door het water, dat er in valt, boven de gaatjes bij *c;* nu kan de lucht niet meer in bol *a* geraken. Van dit oogenblik af verdunt zich de lucht, naarmate de uitstrooming voortduurt, meer en meer en er komt spoedig een oogenblik, waarop de spanning der lucht in den bol, gevoegd bij de drukking van de daarin bevatte massa water, geringer is dan de drukking der atmospheer, die van buiten uitgeoefend wordt op de uitmonding der twee pijpjes. Deze drukking verhindert dus het uitstroomen van het water. Zal het water weder kunnen vloeijen, dan moet de lucht in de buis *d* kunnen dringen, en daartoe moeten de openingen *c* niet meer onder water zijn. Daarom heeft men aan het groote vat, waarin het water loopt, een spuigat *m* gemaakt, waardoor de vloeistof kan wegloopen, maar altijd met eene geringere snelheid, dan waarmee het door de twee bovenste buisjes wordt aangevoerd: is nu het niveau in het onderste vat zoover gedaald, dat de openingen *c* vrij komen, dan kan de lucht weer in de buis geraken, het vloeijen begint weer en zoo vervolgens tot de bol *a* geheel ledig is.

142. **Hevel-inktkoker.** De *hevel-inktkoker*, die de verdamping van den inkt tegengaat door hem slechts voor een klein gedeelte met de buitenlucht in aanraking te brengen, is eene vernuftige toepassing van de drukking der atmospheer en van de spankracht der lucht. Deze inktkoker is een glazen vat, in den vorm van eene afgeknotte pyramide, aan alle zijden gesloten, uitgezonderd beneden, waar zich eene opening bevindt, waar men een tuitje heeft aangesmolten (zie fig. 119). De inktkoker is gedeeltelijk met inkt gevuld en daar boven bevindt zich lucht. Daar het niveau in den inktkoker een weinig hooger staat dan in het tuitje, volgt hieruit dat de spankracht der lucht in den inktkoker iets minder is dan de atmospherische drukking, die op de vloeistof in het tuitje werkt.

Fig. 119. Hevel-inktkoker.

Naarmate men nu inkt uit dit tuitje met de pen wegneemt, daalt zijn niveau en komt eindelijk lager dan *o*. Op dit oogenblik dringt eene luchtbel naar binnen door en voegt zich bij de in den inktkoker bevatte lucht. Dadelijk neemt nu de spanning toe, het niveau in den inktkoker zakt en rijst in het buisje en zoo vervolgens tot dat het binnen-niveau het punt *o* bereikt. Nu moet men op nieuw den inktkoker vullen, door inkt in het tuitje te gieten, terwijl men den inktkoker een weinig achterover houdt.

VERSCHILLENDE SOORTEN VAN POMPEN.

143. **Zuigpomp**. *Pompen* zijn werktuigen om vloeistoffen omhoog te voeren. Hare uitvinding, die zeer oud is, wordt toegeschreven aan Ctesibius, een beroemd werktuigkundige, die te Alexandrië 130 jaar vóór onze jaartelling onder Ptolemaeus Euergetes leefde. Veel heeft men den vorm der pompen gewijzigd, maar zij kunnen allen tot drie hoofdsoorten gebracht worden: de *zuigpompen*, de *perspompen* en de *zuig- en perspompen*

Wij zullen eerst de *zuigpomp* beschrijven: deze pomp, voorgesteld in fig. 120, bestaat uit een gegoten ijzeren cylinder, dien men *pompbuis* noemt. Onder aan dezen cylinder bevindt zich eene buis van minder diameter, dat is de *zuigbuis*, die tot in het water van den put reikt, waaruit men het wil opvoeren. Aan het boveneind van deze buis vindt men eene naar boven zich openende klep, de *bodem-* of *hartklep*, welke in onze teekening open is voorgesteld. Terwijl zij zich gemakkelijk opent en sluit, maakt zij eene gemeenschap tusschen de pomp- en zuigbuis, wanneer zij open is, en breekt zij die af, wanneer zij gesloten is. Eindelijk heeft men in de pompbuis nog den *zuiger*, welke eene dikke metalen of houten schijf is, waar om heen men werk of een lederen ring vindt, om hermetisch in de pompbuis te sluiten. Deze zuiger is in het midden doorboord; eene klep, de *zuigerklep*, op onze figuur gesloten voorgesteld, sluit deze opening. Deze tweede klep, geheel gelijk aan de eerste, opent zich even als deze naar boven. Een lange hefboom, welken men *zwengel* noemt, dient om den zuiger te bewegen. Op het eene uiteinde van dezen hefboom werkt de kracht van den man, die pompt, en met het andere uiteinde vat hij in eene ijzeren

stang met twee armen *a*, welke men *vork* heet en welke door een scharnier aan de zuigerstang *b* verbonden is. Daar het van belang is, dat de zuigerstang langs eene rechte lijn op

Fig. 120. Zuigpomp

en neer gaat, wordt zij in hare beweging geleid door een stuk *o*, waarin een gat voor de stang geboord is. Is de zwengel in werking, dan helt de vork nu eens naar voren dan eens naar achteren, maar de stang *b* blijft steeds in eene rechte lijn op en neer gaan, en dit is noodig, want anders zoude zij òf breken òf gebogen worden.

Om nu te begrijpen hoe het water in de zuigpompen geraakt, zullen wij de figuren 121, 122 en 123 nagaan, die ons den zuiger en de kleppen van de hierboven beschreven pomp in drie verschillende standen toonen.

Zoo lang de pomp nog niet gewerkt heeft, zijn de pomp- en zuigbuis nog vol lucht onder de drukking der atmospheer, en deze lucht maakt bij gevolg evenwicht met de drukking,

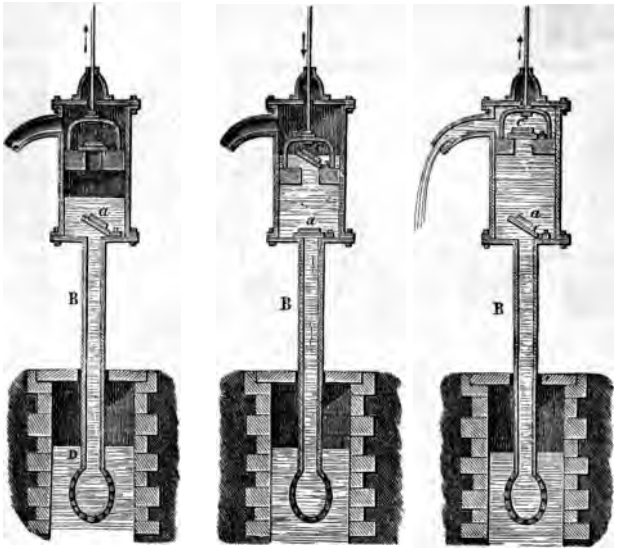


Fig. 121. Fig. 122. Fig. 123.
Doorsnede van de zuigpomp.

die van buiten op het water in den put werkt. Hieruit volgt dat het niveau in de zuigbuis gelijk staat met dat in den put. Maar rijst de zuiger (zie fig. 121), dan wordt de klep *c* gesloten èn door haar eigen gewicht èn door dat der atmospheer, en de lucht onder den zuiger wordt ijler. Door hare spankracht opent dan de lucht, in de buis B bevat, de klep *a* en treedt voor een gedeelte in de pompbuis. Terwijl de lucht, die in de buis B is, aldus in spankracht verliest, wat zij in volume wint (zie 131), maakt hare span-

ning geen evenwicht meer met de atmospherische drukking, die van buiten bij D op het water van den put wordt uitgeoefend. Bij gevolg rijst het water in de zuigbuis, zooals onze teekening aantoont. Daalt nu de zuiger, dan sluit zich klep *a*, en daar op deze wijze de in de pompbuis bevatte lucht meer en meer samengedrukt wordt, komt er een oogenblik, waarin hare spaning de atmospherische drukking overtreft, en klep *c* opent zich. Nu ontsnapt de lucht door deze opening, komt in het bovengedeelte der pompbuis en van daar in de atmospheer. Bij een tweeden zuigerslag heeft men weer dezelfde reeks van verschijnselen: klep *c* valt neer en klep *a* opent zich, en het water, weer opstijgende in de zuigbuis, komt eindelijk boven klep *a* en vult weldra de geheele pompbuis. Daalt nu de zuiger, dan sluit zich klep *a*, en het water, nu onder de drukking van den nederdalenden zuiger zijnde, ligt klep *c* op en komt boven den zuiger, zooals fig. 122 doet zien. Is dit verkregen, dan sluit zich, zoodra de zuiger weder rijst, klep *c*, en het water, dat zich nu boven den zuiger bevindt, wordt met hem opgeligt en eindelijk uitgestort door eene buis, welke op zijde boven aan de pomp is gebracht (zie fig. 123).

Daar het alleen de atmospherische drukking is, die het water in de zuigbuis doet opstijgen, volgt hieruit dat de hoogte van klep *a*, boven het water-niveau in den put, een zekere grens niet mag overschrijden. Men heeft waargenomen dat eene kolom water van ± 10 meters op haar grondvlak eene drukking uitoefent, gelijk aan die van de atmospheer (zie 117). Bij gevolg zoude, zoo de zuigbuis meer dan 10 meters lengte had, de kolom water, indien zij eens deze hoogte bereikt had, evenwicht maken met de drukking der atmospheer op het water in den put en dien ten gevolge zoude het water niet hooger kunnen stijgen. Het is dus op zijn hoogst eene lengte van 10 meters, welke de zuigbuis hebben mag, en dit veronderstelt dan nog dat men een volkomen luchtledig in de pompbuis maken kan, hetgeen nooit plaats heeft. In het algemeen kan de zuigbuis niet langer zijn dan 8 meters.

De ouden, die de atmospherische drukking niet kenden, schreven het stijgen van het water in de zuigpompen toe aan *den afkeer der natuur van het ledige.*

144. **Perspomp.** In de perspompen is het niet de atmospherische drukking, die het water opvoert, maar wel de drukking die op den nederdalenden zuiger wordt uitgeoefend. Daarom heeft in deze pompen de zuiger geene klep en men vindt hier ook geene zuigbuis, daar de pompbuis in het water zelf gedompeld wordt, dat men wil opheffen, gelijk de figuren 124 en 125 aanwijzen. Eindelijk heeft de pompbuis, die bij de zuigpomp slechts ééne klep heeft, hier twee kleppen: de ééne *a* van beneden naar boven, de andere *c* van binnen naar buiten zich openende, welke laatste geplaatst is voor den mond van eene lange pijp, welke zijdelings aan de pompbuis is aangebracht.

Letten wij nu op de werking dezer kleppen. Als de zuiger rijst (zie fig. 124) wordt onder hem een luchtledig gevormd,

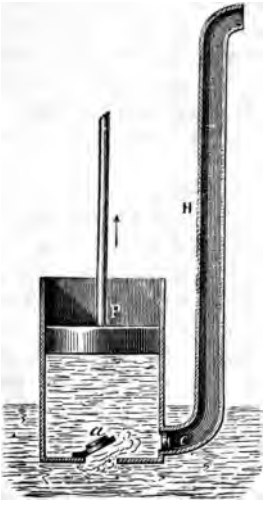


Fig 124.

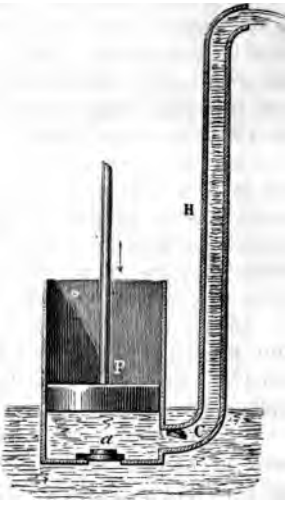


Fig. 125.

Doorsnede van de perspomp.

terwijl de drukking der atmospheer op klep *c* werkt en haar hermetisch sluit. Het water, waarin de pomp staat, door zijn eigen gewicht en door dat der atmospheer opgedrongen, klep *a* en geraakt in de pompbuis, welke het geheel

vult. Eene juist omgekeerde werking der kleppen heeft plaats, wanneer de zuiger daalt (zie fig. 125). Door haar eigen gewicht en door de drukking onder welke zij staat sluit zich klep *a*, terwijl klep *c* zich opent om doorgang te verleenen aan het water, dat zich in de pompuis bevindt, en zich nu in de buis H verheft tot eene hoogte, afhankelijk van de op den zuiger uitgeoefende drukking. Indien dit eene drukking is van ééne atmospheer, dan rijst het water tot 10 meters in de buis H; is het eene drukking van twee atmosphe-ren, dan brengt men het water tot 20 meters: dat is steeds 10 meters voor elke atmospheer drukking. De hoogte, waar-toe men het water kan opvoeren, is in die soort van pom-pen niet begrensd, gelijk bij de zuigpomp.

Het is duidelijk, dat bij de inrichting, die wij beschreven hebben, het water alleen dan in de buis H kan opklimmen, als de zuiger daalt; het water staat stil zoodra de zuiger rijst; hieruit volgt echter eene afgebroken uitvloeijing uit de buis. Om eene meer regelmatige uitvloeijing te verkrijgen, doet men te gelijker tijd twee pompen werken, die het water in een zelfde buis persen; men regelt ze dan zoo, dat de zuiger van de eene rijst, als die van de andere daalt. Dit dwingt dan het water, meer regelmatig te stijgen.

Door eene soortgelijke inrichting van twee gekoppelde pompen, wordt de olie in de Carcellampen tot de pit ge-voerd. In den voet van deze lampen, midden in de olie zelve, die haar voeden moet, zijn twee kleine perspompen, die door een raderwerk bewogen worden, dat men evenals eene pendule met een sleutel opwindt. Deze inrichting heeft men ook aangenomen bij de brandspuit, welke wij nu gaan beschrijven.

145. **Brandspuit.** Daar het bij brand van belang is het water met een aanhoudenden straal te kunnen spuiten, maakt men gebruik van perspompen, die bij paren verbonden zijn en bewogen worden door een hefboom, *balans* genaamd, welken zestien mannen, acht aan ieder einde, doen op en neer gaan. Wij zien in fig. 126 eene doorsnede van eene brandspuit. Aan den hefboom P Q zijn door scharnieren twee *zuigerhaken* bevestigd, welke de zuigers *m* en *n* in hunne koperen pompbuizen doen op en neer gaan. Deze pompen staan in een bak *M N* van hetzelfde metaal, welken men

spuitkast noemt, en waarin water moet zijn zoolang de pomp werkt. Tusschen de pompbuizen vindt men den *windketel* R, welke op de zijde eene opening Z heeft, waaraan eene lange lederen slang kan bevestigd worden, die het water naar de brandende punten moet voeren. Aan het einde van deze slang vindt men eene koperen kegelvormige buis, welke de *straalpijp* heet en waarin het mondstuk slechts 15—17 millimeters binnen-middellijn heeft. Het nut van den windketel bestaat hierin: ofschoon de zuigers bij afwisseling op en neer gaan, heeft men toch één oogenblik stilstand, als zij òf boven òf beneden in de pompbuis gekomen zijn. Hieruit volgt eene

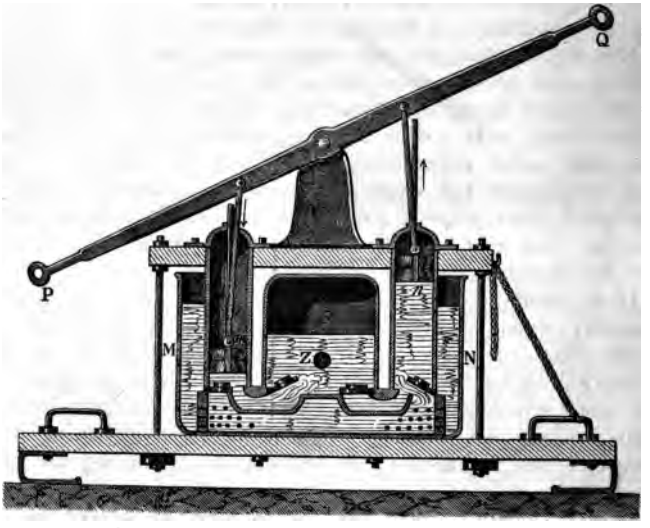


Fig. 126. Doorsnede van een brandspuit.

kleine onregelmatigheid in den straal, maar deze verdwijnt geheel door het gebruik van den windketel. Het water, dat door de pompen voortgeperst wordt, gaat niet dadelijk naar de slang, maar eerst naar den windketel, zooals in bovenstaande figuur de werking der kleppen ons toont. Door den weerstand, dien het water ontmoet bij het stijgen in de slang, *gaat het langzamer* uit den windketel dan het er in komt.

Het niveau rijst dus in dezen windketel, waardoor de daarin bevatte lucht in volume vermindert. Nu is het deze samengeperste lucht, welke, op het water werkende als de zuigers stilstaan, dit dwingt om uit te stroomen en zoodoende de regelmatigheid van den straal onderhoudt. Eene goede brandspuit, waaraan zestien mannen werken, kan tot eene hoogte van 30 tot 32 meters, 450 kannen water per minuut leveren.

In fig. 127 zien wij de brandspuiten in werking. Acht

Fig. 127. Brandspuit in werking.

mannen geven aan den hefboom, waaraan de zuigerstangen bevestigd zijn, eene op- en neergaande beweging. Rijzen zij, dan *zuigen zij het* water uit den bak: dit heeft

plaats op de teekening in doorsnede, bij den zuiger *n*, terwijl de zuiger *m*, die daalt, het water in den windketel R perst en van daar in de lange lederen slang, die aan dezen bevestigd is: het uiteinde van deze slang wordt bestuurd door den *pijpgast*. Op onze teekening zien wij hoe de koperen kist van de brandspuit met water gevuld wordt, door emmers daarin uit te storten, die van hand tot hand worden aangereikt. Veelal gebruikt men daarvoor eene tweede pomp, de *zuigpomp* of den *aanjager*, die door acht man gedreven wordt.

In 1672 voegde Jan van der Heide uit Amsterdam de slang toe aan de brandspuiten. Hoewel de oudste brandspuiten slechts uit eene zuig- en perspomp bestonden, schijnt toch de uitvinding van den windketel reeds van zeer oude dagteekening te zijn. In eene brandspuit te 's Hage van Jan van der Heide vindt men ten minste reeds zulk een windketel gebruikt. In Parijs werden de slang-brandspuiten ingevoerd in 1699 door Dumourrier-Duperrier, die ze in Holland had leeren kennen.

146. **Zuig- en perspomp.** Gelijk de naam aanduidt, vereenigt deze pomp de inrichtingen van de beide reeds beschrevene pompen: dat wil zeggen, zij heeft eene zuigbuis die niet langer dan 10 meters mag wezen, en eene pijp door welke het water opgebracht moet worden, welker lengte onbegrensd is. De zuiger is niet doorboord en de kleppen zijn geplaatst als in fig. 124: eene van de kleppen (de onderste) opent zich naar binnen, de andere (de zijdelingsche) naar buiten. Rijst de zuiger, dan stijgt het water in de zuigbuis door de drukking der atmospheer; en daalt hij, dan perst hij het water door de afvoerpijp weg, tot eene hoogte, die van de kracht afhangt, waarmede de zuiger bewogen wordt.

147. **Hevel.** Men noemt *hevel* eene omgebogen aan beide zijden opene buis, waarvan men zich bedient om vochten over de randen der vaten heen te tappen, zonder deze vaten scheef te houden. Dit instrument is vooral van groot nut zoo men een vocht helder wil afschenken, dat op den bodem van het vat een nederplofsel (præcipitaat) heeft afgezet, en welk vocht door het scheef te houden ligt troebel zoude worden.

Zooals fig. 128 aantoont, zijn de beide armen van den *hevel niet even lang*: de kortste wordt gedompeld in het vat

dat men wil aftappen en door den langsten moet het wegvloeijen. Om met den hevel te werken, begint men met hem te vullen met de vloeistof, die er doorheen moet loopen. Men doet dit gewoonlijk door uit den langen arm de lucht, die in den hevel voorhanden is, weg te zuigen. Men verkrijgt dan een luchtledig in den hevel, en de atmospherische drukking, die bij *d* op de vloeistof werkt, doet deze in den korten arm opklimmen en zoo den geheelen hevel vullen. Houdt men op met zuigen, dan ziet men de vloeistof gestadig wegstroomen tot dat het niveau in het vat de opening van den korten arm bereikt heeft.

Om te begrijpen hoe het water in den korten arm opklimt,

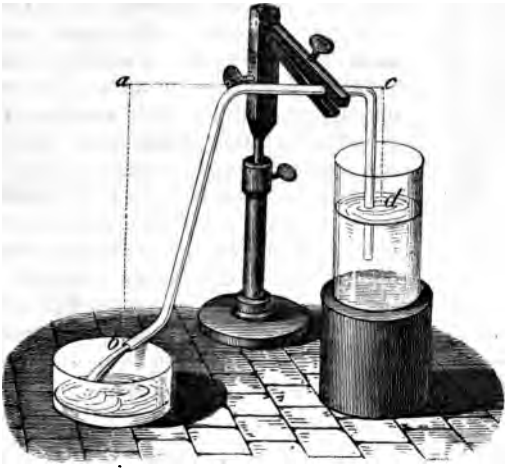


Fig. 128. Hevel.

moeten wij opmerken, dat de drukking der atmospheer, die bij *d* uitgeoefend wordt, en die het water in den korten arm perst en het doet geraken in den langen, slechts het gewicht van eene kolom water *c d* heeft te overwinnen, terwijl de atmospherische drukking, die bij *b* werkt om het water van den langen in den korten arm te persen, de geheele kolom water te dragen heeft, die in den langen arm bevat is, en bij gevolg *een weerstand* ondervindt, gelijk aan het gewicht

van eene kolom water, welke *a b* tot hoogte heeft. De weerstand, dien de atmospherische drukking te overwinnen heeft om de vloeistof van den eenen in den anderen arm te doen overgaan, is dus veel grooter bij *b* dan bij *d*. De drukking bij *d* wint het dus en doet de vloeistof van den korten in den langen arm overloopen.

De snelheid van uitstrooming is zoo veel te grooter als de hoogte *a b* grooter is dan de hoogte *c d*. Daalt het niveau bij *d*, dan wordt de kolom *c d* al meer en meer gelijk aan *a b* en bij gevolg neemt de uitstroomingssnelheid af. Hieruit ziet men, dat om eene constante uitstrooming te hebben, het verschil tusschen de twee hoogten *a b* en *c d* steeds gelijk zoude moeten zijn. Men kan tot eene constante uitstrooming geraken door den hevel zoo in te richten, dat hij te gelijker tijd met het niveau bij *d* zakt. Alsdan noemt men hem een *hevel met constante uitstrooming*.

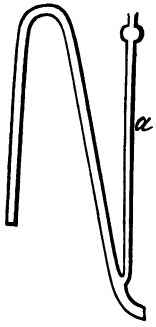


Fig. 129.

Daar het evenwel bij vele vloeistoffen gevaarlijk zoude zijn om de lucht bij de opening *b* weg te zuigen, om dat de vloeistof dan in den mond zoude binnen geraken, soldeert men aan den langen arm eene buis *a* (zie fig. 129). Men zuigt nu de lucht uit den lagen arm door deze buis, terwijl men de opening *b* een oogenblik sluit, en zorg draagt dat de vloeifstof niet hooger stijgt dan de bol.

HOOFDSTUK IV.

DE LUCHTBOLLEN.

148. **Drukkingen, die de in de lucht zwevende ligchamen ondergaan.** Wij hebben gezien (zie 94), dat ieder in eene vloeistof gedompeld ligchaam van beneden naar boven eene drukking ondervindt, gelijk aan het gewicht van de vloeistof, die verplaatst is. Deze wet, die wij onder den naam van *wet van Archimedes* bewezen hebben, is algemeen en zoowel toepasselijk op gassen als op vloeistoffen. De drukking van *len naar boven*, welke de in de lucht zwevende lig-

chamen ondergaan, toont men aan door een klein instrument, *baroscoop* geheeten; de naam wordt afgeleid van twee griekschè woorden, die *zwaar* en *zien* beteekenen. Het is eene balans; aan een van de uiteinden van den balk is een groote, holle koperen bol opgehangen, aan het andere een stukje lood. Dit stukje lood is zoo zwaar genomen, dat het in de lucht juist evenwicht maakt met den koperen bol, dat wil zeggen, dat dan de balk juist horizontaal is. Plaatst men dit toestel nu onder den ontvanger eener luchtpomp en verdunt men de lucht, dan ziet men den balk hellen naar de zijde, waar de bol is opgehangen (zie fig. 130). Deze laatste weegt dus werkelijk meer dan de massa lood. Is zijn overwicht niet merkbaar in de lucht, dan komt dit door dat hij eene grootere massa lucht verplaatst dan de loodmassa, hij ondervindt dus eene grootere drukking van beneden naar boven en verliest bij gevolg meer van zijn gewicht.

Fig. 130. Baroscoop.

Men kan dus de wet van Archimedes (zie 95) meer algemeen maken en zeggen: *dat elk in eene gasvormige of druipvormige vloeistof gedompeld ligchaam een gedeelte van zijn gewicht verliest, gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.* Hieruit volgt dat, wanneer men een ligchaam in de lucht weegt, men in het algemeen een te gering gewicht verkrijgt. Om het juiste gewicht te verkrijgen zoude het volume lucht, door het te wegen ligchaam verplaatst, juist aan het volume lucht gelijk moeten wezen, dat door de gewichten verplaatst wordt, en dit is gewoonlijk niet het geval. Men

zoude dus in het luchtledige moeten wegen om dit juiste gewicht te leeren kennen.

Bij de drukking van beneden naar boven, welke een in de lucht gedompeld ligchaam ondervindt, kan men drie gevallen onderscheiden: òf het ligchaam weegt meer dan de lucht die het verplaatst, het valt, en dit is het gewone geval; òf het weegt juist zooveel als de verplaatste lucht, het zweeft in de lucht; òf het weegt minder dan de verplaatste lucht, in dit geval rijst het ligchaam; dit heeft plaats bij den rook, bij den waterdamp door welken de wolken gevormd worden en bij de luchtbollen.

149. **Uitvinding der luchtbollen.** De *luchtbollen* zijn groote van taf vervaardigde bollen, welke men vernist heeft, om hen ondoordringbaar te maken: deze bollen, gevuld met een gas dat ligter dan de lucht is, stijgen in den dampkring op door hunne betrekkelijke ligtheid.

De uitvinding der luchtbollen is men verschuldigd aan de gebroeders Etienne en Joseph Montgolfier, papierfabriekanten in het kleine stadje Annonay, depart. Ardèche, in Frankrijk, waar de eerste proef, in tegenwoordigheid van hooge autoriteiten, den 5den Junij 1783 plaats greep. De eerste luchtbol was een linnen met papier overplakte bol, welke 36 meters omtrek had en 250 kilogrammen woog. Deze bol was van onderen open en hieronder brandde men nat stroo, papier, wol enz. De verwarmde lucht, die zoodoende in den bol doordrong, blies hem langzamerhand op, en toen hij vol uitgezette lucht was, minder dicht dan de buitenlucht, woog het omhulsel en de daarin bevatte lucht minder dan de verplaatste lucht. De bol steeg op en verhief zich in weinige oogenblikken tot eene hoogte van twee duizend meters, tot groote verwondering van de talrijke aanschouwers. Maar hij viel spoedig neer, daar de warme lucht, die hem vulde, in de hooge streken van de atmospheer spoedig werd afgekoeld.

De proef van Annonay vond weerklank in geheel Frankrijk, waar zij niet alleen verwondering, maar bewondering wekte. Parijs, door een klein provincie-stadje voorgegaan, haastte zich de proef van de gebroeders Montgolfier te herhalen. Terwijl de voltooijing op handen was van eenen ontzaglijk grooten ballon, welken het gouvernement onder *ezigt van Etienne* Montgolfier deed vervaardigen, maakten

de gebroeders Robert, werktuigkundigen, onder leiding van Charles, toen professor in de natuurkunde, een ballon van taf en overtogen dien met caoutchouc. Deze kleine ballon, slechts 4 meters middellijn hebbende, werd gevuld in plaats van met verwarmde lucht, zoo als die van Montgolfier, met waterstofgas of ontvlambare lucht, zoo als men dit gas toen noemde. Het gebruik van dit gas gaf een groot voordeel, want nagenoeg 14 maal ligter dan de lucht zijnde, deed het den ballon stijgen met grooter kracht dan men met verwarmde lucht kon verkrijgen; en daarenboven behoefde men geene brandstoffen onder den ballon te verbranden, dat gevaarlijk was, daar het vuur zich ieder oogenblik aan den luchtbol kon mededeelen.

Op den 27sten Augustus 1783, des avonds ten 5 ure, werd, op het Champ-de-Mars, de eerste ballon met waterstofgas gevuld, opgelaten. Een kanonschot kondigde zijn vertrek aan; toen de koorden, die hem terug hielden verbroken waren, verhief hij zich met zulk eene snelheid, dat hij in vier minuten tot meer dan 850 meters hoogte steeg en toen zich in eene wolk verborg. Een tweede kanonschot kondigde zijne verdwijning aan. De regen belette de opgewonden menigte niet hem met het oog te volgen, totdat hij onder handgeklap verdween. „Nooit", schreef Mercier, „werd eene les in de natuurkunde aan een meer talrijk en meer oplettend gehoor gegeven." Deze ballon viel op vijf uur afstands van Parijs neder bij Gonesse, tot groote verwondering van de inwoners, die, niet begrijpende van wien deze vreemde bode kwam, hem met weinig hoffelijkheid ontvingen.

Om de luchtbollen met verwarmde lucht te onderscheiden van die, welke met waterstofgas gevuld zijn, geeft men aan eersten den naam van *Montgolfières*, naar hunnen uitvinder, aan de laatsten den naam van *Charlières* of ook wel *aérostaten:* een uit het latijn afgeleid woord, dat *in de lucht zich ophouden* beteekent.

150. **Het vullen en opstijgen der luchtbollen.** De met waterstofgas gevulde luchtbollen zijn de eenige, welke men tegenwoordig gebruikt. Men vult ze of met waterstofgas of met lichtgas, dat samengesteld is uit waterstof en koolstof; hoewel zwaarder dan waterstof is het toch veel lichter dan de lucht. *Men gebruikt dit gas* vrij algemeen om luchtbollen te

vullen, omdat, daar meest alle groote steden gasfabrieken hebben, men het gemakkelijker en goedkooper van de fabriek kan verkrijgen, dan het waterstofgas, waarvan de bereiding langer duurt en kostbaarder is.

Wij zien in fig. 131 een luchtbol voorgesteld, die met

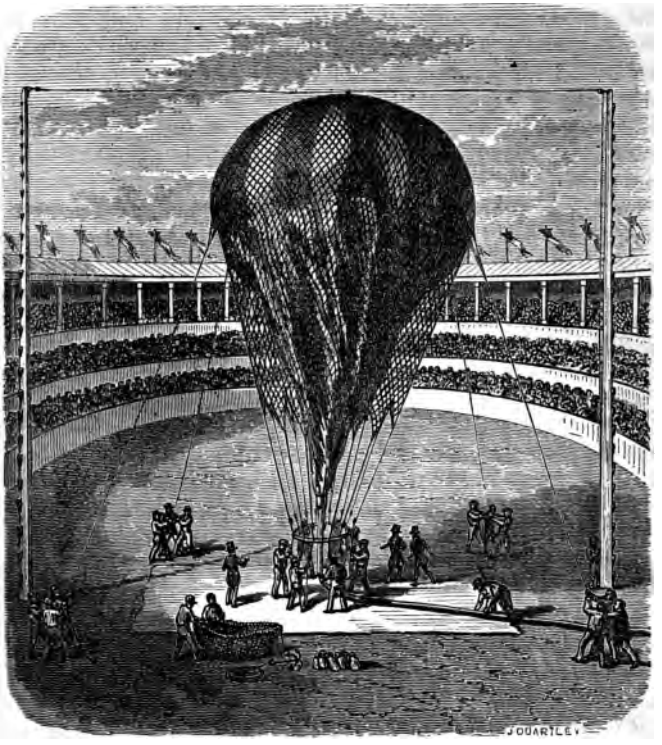


Fig. 131. Vulling van eenen luchtbol.

lichtgas gevuld wordt. Dit wordt door eene lange buis aangevoerd uit de fabriek en deze buis komt uit in het onderste gedeelte van den ballon. Om het inbrengen van het gas in den luchtbol gemakkelijker te maken heeft men twee masten opgericht en aan het boveneinde van deze twee katrollen be-

vestigd, waarover een koord loopt, dat men naar verlangen kan spannen, en dat door een ring gaat, welke zich boven aan den luchtbol bevindt. Hierdoor kan men hem eerst ongeveer een meter van den grond opheffen en zoo het gas inbrengen; vervolgens naarmate de ballon gevuld wordt, haalt men hem een weinig hooger op, terwijl men het touw wat meer spant, waaraan hij hangt, en men hem zorgvuldig ontvouwt. Weldra behoeft men den ballon niet meer te steunen, maar moet men zich verzetten tegen zijne opstijging. Daarom heeft men hem te voren met een netwerk bekleedt, waaraan zich touwen bevinden, die door mannen vastgehouden worden. Terwijl de ballon zoo tegengehouden wordt, maakt men de buis, die het gas aanvoerde, los en hangt men het *schuitje* aan het netwerk. Zoo noemt men een teenen mandje, waarin zich de luchtreiziger plaatst. Is deze gezeten, dan worden op een oogenblik al de touwen te gelijk losgelaten en de ballon, vrij geworden, rijst met eene vaart naar boven, die des te grooter is, naarmate hij ligter is in betrekking tot de lucht, die hij verplaatst. Men moet zorg dragen den ballon niet geheel te vullen, want de atmospherische drukking neemt af, naarmate men hooger stijgt, het gas in den ballon zet zich uit, en zoude den ballon doen barsten, zoo deze reeds bij het vertrek geheel gevuld ware.

Om zich naar willekeur te kunnen verheffen, neemt de luchtreiziger ballast mede, welke uit zakken zand bestaat. Indien de daling te snel of op eene gevaarlijke plek plaats vindt, ledigt hij eenige van die zakken en de ballon, op deze wijze verligt, begint weder te rijzen. Men maakt de daling gemakkelijker door aan een lang koord onder aan het schuitje een anker te hangen. Als dit anker ergens is vastgeraakt, kan men zeer langzaam dalen, door het koord zachtkens aan in te palmen. Dit anker en de met zand gevulde linnen zakken ziet men op onze teekening in fig. 331 naast het schuitje voorgesteld. Eindelijk vindt men boven in den ballon nog eene opening die door een klep gesloten wordt, welke zich van binnen naar buiten opent en waarop eene veer drukt. Door een koord, waarvan het eind tot in het schuitje reikt, kan men deze klep openen. Wil de luchtreiziger dalen, dan trekt hij aan het koord, en genoemde klep doet, daar zij zich opent, *een gedeelte van het* waterstofgas ontsnappen. Dit wordt

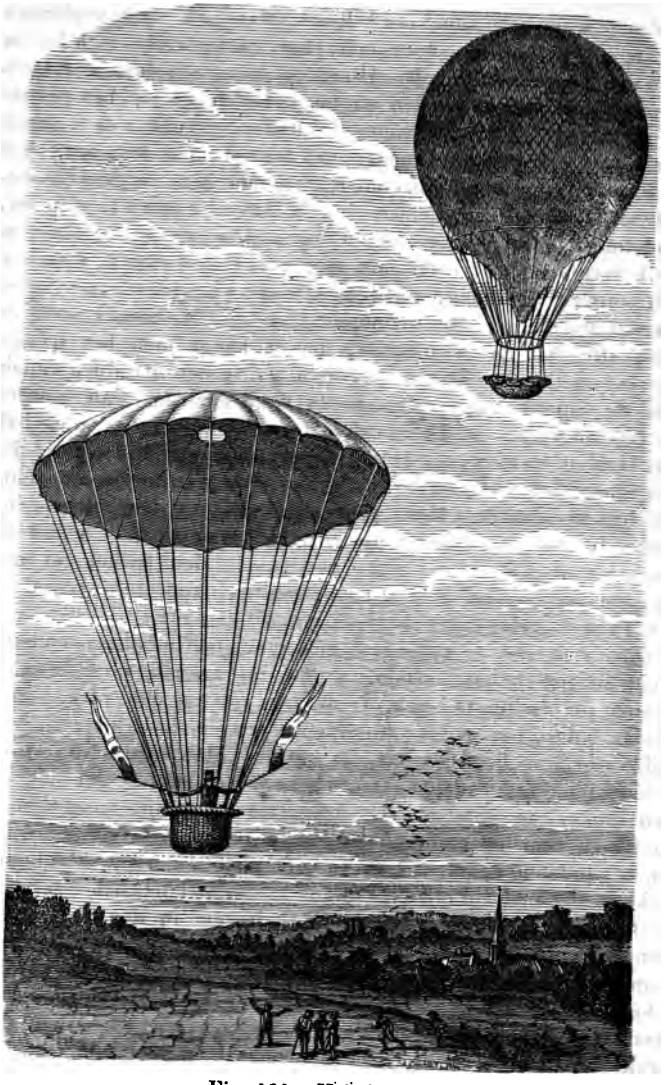


Fig. 132. Valscherm.

door atmospherische lucht vervangen, en daar deze zwaarder is dan waterstofgas, doet zij den ballon dalen.

In de hooge luchtstreken wijst de barometer den luchtreizigers aan of zij rijzen, of dalen. In het eerste geval daalt het kwik in de barometerbuis, want de drukking vermindert; in het andere geval rijst het kwik.

151. **Valscherm.** Door middel van het *valscherm* kan de luchtreiziger zijn luchtballon verlaten en zich zoo langzaam naar beneden laten, dat hij zich niet verwondt. Het bestaat uit een cirkelvormig scherm van ongeveer 5 meters middellijn, in den vorm van een groot regenscherm, waar de baleinen door koorden vervangen zijn, die allen verlengd zijn en vastgemaakt aan een schuitje. Nu eens is het valscherm (gewoonlijk *parachute* genoemd) opgevouwen als een regenscherm en onder aan den ballon bevestigd en dan hangt hieronder het schuitje; dan eens is de parachute op zijde aan den ballon vastgemaakt, en zijne koorden zijn allen bevestigd aan een kleiner schuitje, geplaatst in het grootere, dat aan het netwerk, hetwelk den ballon omgeeft, verbonden is. Wil de luchtreiziger den ballon in den parachute verlaten, dan behoeft hij slechts, nadat hij zich in het schuitje van den parachute geplaatst heeft, het koord los te maken, dat dezen aan den ballon verbindt. Eerst daalt hij met vreeselijke snelheid, maar de lucht dringt zich in de plooijen van den parachute en dwingt dezen zich te openen en oogenblikkelijk wordt de snelheid van daling minder, door de groote oppervlakte, die hij aan de lucht biedt: deze vermindering van snelheid is zoodanig, dat de reiziger den grond zonder een te grooten schok bereiken kan. Een gat midden boven in den parachute dient om de onder het scherm samengedrukte lucht te doen ontsnappen. Zonder deze voorzorg zoude de parachute in eene schommelende beweging komen, die gevaarlijk voor den luchtreiziger zoude kunnen zijn.

Men beproefde den parachute eerst met dieren. Blanchard liet op deze wijze zijn hond van eene hoogte van 2000 meters neder. Een wervelwind hield eerst zijnen val tegen en voerde hem mede tot boven de wolken. De luchtreiziger ontmoette kort daarna den parachute met het arme dier, dat door herhaald blaffen zijne onrust te kennen gaf en zijne vreugde van *zijn meester* weer te vinden. Weder een lucht-

stroom scheidde hen; maar parachute en hond bereikten heelshuids den grond kort na den luchtreiziger.

De uitvinding der parachutes wordt toegeschreven aan Blanchard, maar J. Garnerin was de eerste, die zich in een schuitje, door een zoodanig toestel opgehouden (zie fig. 132), van eene hoogte van 500 meters durfde laten vallen.

152. **Merkwaardige opstijgingen in luchtbollen.** Al zeer spoedig na de uitvinding der luchtbollen durfden koene proefnemers hun leven aan deze groote toestellen toevertrouwen en zich met deze in de lucht verheffen. Op den 15den October van het jaar 1783, vier maanden en eenige dagen na de proef van Annonay, verhief zich eerst een jong beminnaar der natuurkunde, Pilâtre de Rozier, in een ballon met verwarmde lucht gevuld, tot eene hoogte van ongeveer 30 meters, maar deze ballon werd door koorden tegengehouden. Op den 31sten November van hetzelfde jaar echter behaalden dezelfde Pilâtre de Rozier en de ridder d'Arlandes den roem van voor het eerst in een vrijen ballon eene luchtreis te maken. De voorbereidselen hadden plaats in den jardin de la Muette, in het bois de Boulogne te Parijs, in tegenwoordigheid van het geheele Fransche hof. Na eene reis van vijf en twintig minuten bereikten de koene reizigers den grond, aan de andere zijde van Parijs, dicht bij den molen van Croulebarbe. Hun ballon werd door verwarmde lucht uitgezet, daarom was midden in het schuitje een vuurpan waarop zij van tijd tot tijd een bos stroo verbrandden, om de uitzetting der lucht te onderhouden. Men begrijpt hoe gevaarlijk deze wijze van doen was, omdat ieder oogenblik het vuur zich aan den ballon kon mededeelen.

Nu was de weg gebaand. Eenige dagen later werd de proef van la Muette herhaald in den jardin des Tuileries door Charles, den natuurkundige, en door een der gebroeders Robert, niet met vreesselijk stroovuur, dat van de eerste luchtreis iets verschrikkelijks maakte, maar met waterstofgas.

Na dit tijdperk waren de opstijgingen in luchtbollen talrijk. Eene, die treurig beroemd geworden is, was die bij welke de ongelukkige Pilâtre de Rozier het leven verloor. Hij wilde te gelijker tijd èn Charles èn Montgolfier navolgen, *en daarom nam hij* twee ballons, een gevuld met waterstof-

gas en de andere met door brandend stroo verwarmde lucht. Maar het geheele toestel vloog in brand en viel uit eene schrikbarende hoogte, en de ongelukkige luchtreiziger kwam om als een slachtoffer zijner roekeloosheid. Wij moeten ook nog den tocht van Blanchard aanhalen, die in gezelschap van Dr. Jeffries op den 7den Januarij 1785 het eerst den overtocht van Dover naar Calais maakte, waar men eene pyramide opgericht heeft ter herinnering aan deze luchtreis. Dikwijls waren de reizigers op het punt van in zee te vallen, en zij bereikten de kust van Frankrijk niet, dan na eerst al hun ballast, hunne instrumenten, ja zelfs hunne kleederen uit het schuitje geworpen en zoo hun ballon ligter gemaakt te hebben.

De opstijging van Gay-Lussac op den 16den September 1804 was de merkwaardigste door de belangrijke zaken, waarmede zij de wetenschap verrijkt heeft en door de hoogte, welke deze beroemde natuurkundige bereikte. Deze hoogte bedroeg 7016 meters boven de oppervlakte der zee. Green is echter later hooger gestegen. Op gezegde hoogte was de barometer tot 32 centimeters gedaald en de thermometer die 31 graden aanwees op de oppervlakte der aarde, was daar tot 9°,5 onder nul gedaald.

In deze hooge streken is de droogte zoo groot, dat hygrometrische stoffen, als papier, perkament, geheel uitdroogen, inkrimpen en omkrullen even alsof men ze aan vuur blootstelt. Ademhaling en bloedsomloop versnellen door de groote ijlheid der lucht. Gay-Lussac nam waar, dat zijn pols daar 120 slagen in de minuut maakte, terwijl het gewone getal slechts 66 was. Eindelijk neemt op deze groote hoogte de hemel eene donkerblauwe, naar het zwart zweemende, kleur aan, en de luchtreiziger bevindt zich te midden eener volstrekte en plechtige stilte.

Gay-Lussac steeg op uit de binnenplaats van het conservatoire des Arts-et-Métiers te Parijs des morgens ten 10 ure, en daalde na 6 uren dicht bij Rouaan neder: hij had alzoo nagenoeg 30 uren gaans afgelegd.

153. **Toepassingen van de luchtbollen.** Tot nog toe waren physische en meteorologische waarnemingen in de hooge streken der atmospheer de voornaamste toepassing der luchtbollen. *Al dadelijk na hunne* uitvinding wilde men ze toepas-

sen op de kunst van oorlog voeren: men wilde namelijk door middel van aan koorden bevestigde ballons de bewegingen van den vijand nagaan. Bij den veldslag van Fleurus op den 16den Junij 1794 heeft de generaal Moreau zich gedurende 2 uren op eene hoogte van 400 meters gehouden in een door touwen vastgehouden ballon; hij nam vandaar de stelling van den vijand waar en deed die kennen door twee achtereenvolgende brieven aan den generaal Jourdan. Het winnen van dezen veldslag werd voor een deel toegeschreven aan de nuttige aanwijzingen, die men uit deze bron geput had. Ook in den Frans-Duitschen oorlog (1870) heeft men, bij de insluiting van Parijs door het vijandelijk leger, weder van dit middel gebruik gemaakt om briefpakketten uit Parijs te verzenden. Maar de luchtbollen zullen dan eerst geheel aan het doel beantwoorden, als men ze zal kunnen besturen. Al de pogingen, die men daartoe in het werk gesteld heeft, zijn geheel mislukt. Men heeft tegenwoordig geen ander middel dan zich zoover in de atmospheer te verheffen, tot dat men een luchtstroom ontmoet, die eenigszins in de richting is, die men wil volgen.

VIERDE BOEK.

GELUIDSLEER.

HOOFDSTUK. I.

ONTSTAAN EN VOORTPLANTING VAN HET GELUID.

154. Onderwerp der geluidsleer. Oorzaak van het geluid. Men noemt *geluidsleer*, (of *akustika*, van een grieksch woord dat *hooren* beteekent), dat gedeelte van de natuurkunde, dat over de geluiden handelt, d. i. ten doel heeft, te leeren kennen, hoe zij gevormd worden en zich voortplanten. Deze wetenschap houdt zich ook bezig met de onderlinge betrekking der geluiden. Tot de leer der geluiden behoort niet die der gevoelens en hartstochten, die zij in ons op kunnen wekken, want, uit dit oogpunt beschouwd, behoort de geluidsleer tot de wetenschap der muziek. Om zich van het belang van dit deel der natuurkunde te overtuigen, is het voldoende op te merken, dat twee van onze organnen, de stem en het gehoor, uitsluitend dienen tot het vormen en opnemen der geluiden.

Het *geluid* is een bijzonder gevoel, dat in het gehoorzintuig wordt opgewekt. Het wordt altijd veroorzaakt door een snel heen en weder bewegen van de moleculen van een veerkrachtig ligchaam, en daardoor van de luchtlagen, waaraan het raakt. Nemen wij tot voorbeeld eene sterk gespannen snaar,

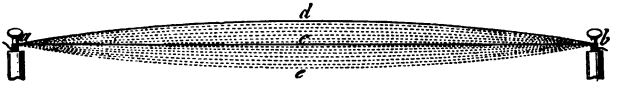


Fig. 133. Trillingen van eene snaar.

die men opligt en loslaat of door een strijkstok laat trillen (fig. 133). Wanneer men deze snaar uit den rechtlijnigen stand, waarin zij in evenwicht was *a c b*, heeft verplaatst in een kromlijnigen stand *a d b*, zijn al hare punten min of meer verwijderd van hun stand toen de snaar in evenwicht

was. Hieruit vloeit voort, dat de snaar zoodra zij aan zichzelve wordt overgelaten, den vorigen stand *a c b* weder tracht aan te nemen, omdat zij veerkrachtig is. Zij neemt hem weer aan, maar door de verkregene snelheid, gaat zij hem voorbij tot in *a e b;* al hare punten zijn dan ongeveer even ver verwijderd van hun evenwichtsstand als in *a d b*. Daar de snaar nu weer gelijk de eerste maal doet, komt zij niet alleen weer in *a c b;* maar gaat er ook weer voorbij en zoo voort, elke keer kleinere slingeringen makende, gelijk het de gestippelde lijnen in fig. 133 doen zien, totdat zij in den aanvankelijken evenwichtstoestand teruggekeerd is. Men ziet dus dat ieder punt van de snaar eene heen- en weergaande beweging heeft, dat is eene slingerende, geheel gelijk aan die van den slinger (zie 58). Evenals voor dezen, maakt de overgang van den stand *a d b* in dien van *a e b* eene *enkelvoudige slingering;* terwijl het gaan en het terugkomen van eenen stand in den anderen eene *dubbele of volledige slingering* vormen; d. i. de volledige slingering wordt gevormd door twee op elkander volgende enkelvoudige slingeringen

Elk ligchaam dat zoo trilt en een geluid geeft, is een *geluid gevend ligchaam.* De trillingen van een geluid gevend ligchaam zijn te snel om geteld of duidelijk gezien te worden. Men kan ze evenwel op verschillende wijzen voor het oog merkbaar maken. Bijv. als men een vrij grooten glazen bol doet klinken, door er met een vinger tegen aan te tikken, en vervolgens een klein ivoren balletje, dat aan een draad opgehangen is, tegen aan doet komen. Men ziet dat het balletje snel op elkander volgende schokken krijgt van den wand van den glazen bol; dit bewijst dat deze eene trillende beweging heeft. Eene andere proef is deze: men neemt een metalen plaatje en bevestigt het horizontaal aan één punt; vervolgens overdekt men het met eene laag fijn zand, en laat het trillen door met een strijkstok langs den kant te strijken. Dadelijk wordt het zand op eene merkbare wijze bewogen, het springt op, en valt weder neer met eene groote snelheid; dit is het gevolg van de trillingen van het plaatje.

Neemt men een glazen plaatje, waarop men zand gestrooid heeft, bevestigt men dit en strijkt men er langs, dan zal men hier ook het zand in beweging zien komen. Heeft men *een zuiveren toon* verkregen, dan ziet men eene regelmatige

figuur ontstaan. Naar Chladni, die het eerst op deze figuren opmerkzaam maakte, worden zij *Chladnische klankfiguren* genoemd.

155. **Voortplanting van het geluid in de lucht, geluidsgolven.** Wij hebben bewezen dat, als een ligchaam geluid geeft, de moleculen van dat ligchaam snel trillen; nu moeten wij nog aantoonen, hoe deze trillingen zich voortplanten tot aan het oor, om dáár de waarneming van het geluid te doen ontstaan. Deze voortplanting heeft altijd plaats door middel van een ligchaam, tusschen het oor en het geluid gevende ligchaam in gelegen, en beiden aanrakende. Doorgaans is de lucht dat vervoermiddel van het geluid. Deze vloeistof is zeer beweegbaar, samendrukbaar, veerkrachtig, en daardoor nemen hare moleculen, in aanraking komende met de verschillende punten van het geluid gevende ligchaam, bewegingen aan, gelijk aan die van die punten. Zij komen en gaan met hen; zoo dat elke molecule lucht, die het ligchaam aanraakt, vooruit geduwd wordt in de richting van het geluid, vervolgens weer terugkeert nadat zij de beweging meegedeeld heeft aan de molecule die naast haar ligt; deze werkt gelijkelijk op de daarop volgende en zoo voort tot aan de moleculen, die het *trommelvlies* aanraken.

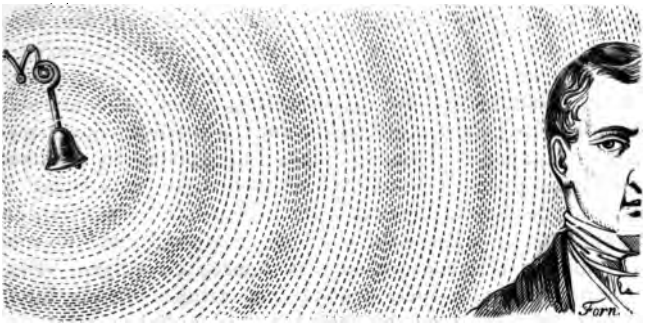


Fig. 134. Voortplanting der geluidsgolven.

Trommelvlies noemt men het vlies dat achter aan het gehoorkanaal van het oor ligt, en bestemd is om de trillingen van de lucht op te nemen. Van daar gaan die trillingen door eene *menigte achtereenvolgende* beentjes en vloeistoffen tot aan de ge-

hoorzenuw, en vandaar naar de hersenen, die zoo het ge luid waarnemen.

Bij iederen stoot van het ligchaam, dat geluid geeft, tege de moleculen lucht, die er mee in aanraking zijn, die wee de daaropvolgende moleculen drukken, wordt er in de lucht tot op zekeren afstand, een samengedrukt gedeelte gevormd dat men met den naam *verdikte golf* bestempelt. Wannee het ligchaam, dat trilt, weder tot zijn vorigen stand terug keert, volgen de naaste moleculen lucht het in zijne bewe ging, en daaruit ontstaat een verdund gedeelte in de lucht dat men de *verdunde golf* noemt. De verdikte en verdund golf te zamen genomen vormen de geluidsgolf. Door d altoos aangroeijende uitbreiding van geluidsgolven, die i den vorm van bollen plaats heeft, waarvan het trillende lig chaam het middelpunt uitmaakt, wordt het geluid naar all kanten heen verspreid (fig. 134). Als men in stilstaan water een steen werpt, worden er om het punt waar hi gevallen is eene reeks evenwijdige cirkels gevormd, die ho langer hoe grooter worden. Dit geeft een vrij goed denkbeel van de voortplanting der geluidsgolven in de lucht.

Voor zeer sterke geluiden, kan de trilling die aan d lucht wordt medegedeeld onder den vorm van geluidsgolven zeer aanmerkelijk worden. Bij het geluid van den donde en van het geschut bijv. zijn het de geluidstrillingen de lucht, die somtijds onze glasruiten breken.

156. **Samentreffen der geluidsgolven.** Het is opmerkelijk dat meerdere geluiden gelijkelijk kunnen worden voortgeplant zonder elkander te schaden, daar alle golven door elkande heen dringen en kruisen zonder gewijzigd te worden. Zo kan, in de meest ingewikkelde samenstelling van meerder instrumenten, een persoon met een geoefend gehoor de toone van ieder instrument afzonderlijk hooren en volgen. Een a te sterk geluid evenwel schaadt een zwak; zoo als bijv. d trom de menschelijke stem geheel onhoorbaar maakt. Ool gebeurt het dikwijls, dat te zwakke geluiden, of die te ve af zijn om duidelijk gehoord te worden, zich vereenigen e een hoorbaar doch verward geluid doen ontstaan. Dit is bijv de oorzaak van het gemurmel van water, het ruischen va *de bladeren* in de bosschen, het bruisen der golven aa *het zeestrand*.

157. **Het geluid wordt niet voortgeplant in het luchtledig.** Daar het geluid veroorzaakt wordt door de golvingen, die n de lucht te weeg gebracht worden door de trillingen van eerkrachtige ligchamen, is het duidelijk, dat wanneer er geen eerkrachtig ligchaam is tusschen het geluidgevende ligchaam n het oor om de trillingen van het ligchaam hieraan over e brengen, er geen geluid meer mogelijk is. Gewoonlijk s de lucht het middel, waardoor de trillingen van geluidgevende ligchamen aan ons overgebracht worden. Het kan echter ook een ander gas zijn, zelfs een damp, eene vloeistof of eene vaste stof.

Om door eene proef aan te toonen, dat het geluid niet anders dan door een tusschenliggend veerkrachtig ligchaam wordt voortgeplant, neemt men een vrij grooten glazen bol, van een kraantje voorzien, waarin een klein klokje aan een draad is opgehangen (fig. 135). Nu pompt men de lucht uit den bol, door middel van de luchtpomp; na dit gedaan te hebben, beweegt men hem om het klokje geluid te doen geven, maar het laat niets hooren. Wanneer men nu het kraantje opent, en zoodoende weder lucht, of een gas, of een damp in den bol laat komen, hoort men duidelijk het geluid, elken keer als men den bol schudt.

Fig. 135 Klokje in het luchtledige.

Men neemt deze proef ook, door onder den ontvanger van de luchtpomp een klokwerk te plaatsen, dat door uurwerk bewogen wordt, bijv. een wekker. Zoolang de ontvanger vol lucht is, hoort men den klank van het klokwerk, maar naarmate men de lucht verdunt, wordt het geluid zwakker, en het houdt geheel op wanneer de ontvanger geheel luchtledig is. Evenwel moet men hiertoe het klokwerk op watten zetten, omdat anders de stukken, waaruit het is samengesteld, het geluid overbrengen op de plaat van de luchtpomp en deze het weder aan de buitenlucht mededeelt. Het is zelfs moeijelijk om het geluid, dat zoo tracht naar buiten overgebracht te worden, geheel op te doen houden.

Hoe hooger men op hooge bergen klimt, hoe dunner en ligter de lucht wordt, des te meer verliest het

kracht. Saussure, een pistool afschietende op den Mont-Blanc, hoorde slechts een zwak geluid, gelijk aan dat van een stok, die gebroken wordt. Als wij ons nog hooger konden verheffen en de grenzen van onzen dampkring overschrijden en in het luchtledig leven konden, zouden wij altijd omringd zijn van de diepste stilte.

158. **Voortplanting van het geluid in vloeistoffen en in vaste stoffen.** Het geluid plant zich niet alleen in gassen voort, maar ook in vloeistoffen en in vaste stoffen. Zoo hooren de duikers onder water geluiden, die men aan den kant maakt, en omgekeerd hoort men aan den kant die, welke onder water plaats hebben. De vaste stoffen geleiden zoo goed het geluid, dat, wanneer men zacht spreekt aan het ééne einde van een grenen balk, 20 of 25 N. ellen lang, het gehoord wordt door iemand, die zijn oor tegen het andere uiteinde houdt, terwijl iemand op een veel kleineren afstand geplaatst niets hoort. Eveneens wordt het geluid ook zoo gemakkelijk door den grond voortgeplant, dat men 's nachts op grooten afstand paardengetrappel of ieder ander geluid kan hooren, als men met zijn oor tegen den grond aan ligt. Op dezelfde wijze kan de mijnwerker, bij het maken van onderaardsche gangen, zich door het geluid, dat door groote rotsmassa's heen tot hem overgebracht wordt, laten leiden naar den mijnwerker bij wien hij komen wil.

159. **Snelheid van het geluid in de lucht.** Een groot aantal verschijnselen toonen ons aan, dat het geluid een zekeren tijd noodig heeft, om van de eene plaats naar de andere voortgeplant te worden. Bijv. als men op eenen heuvel, tegenover dien waarop men zich bevindt, een houthakker aan zijn werk ziet, merkt men op, dat zijn bijl in stilte neervalt, en men hoort het geluid pas als het werktuig, reeds weder opgeheven, op nieuw zal vallen. Even zoo hoort men 's nachts als een jager in de verte een geweer afschiet, de ontploffing pas eenige oogenblikken nadat men het haar vergezellende licht heeft gezien. Eindelijk wordt het geluid bij den bliksem eenigen tijd na het licht waargenomen, hoewel in de wolk de bliksem en de donder te gelijk ontstaan.

Om door eene proef de snelheid te bepalen, waarmede het [illegible] lucht wordt voortgeplant, namen de leden van [illegible] longitudes van het Observatorium van Parijs,

in Junij 1822, 's nachts de volgende proef. Men stelde een kanon op de hoogte van Monthléry, bij Parijs, en een ander op eene verhevene en effene plaats, dicht bij Villejuif. Men had den afstand van deze twee plaatsen nauwkeurig gemeten en gevonden dat deze 18612 meters bedraagt. Nu loste men met tusschenpoozen van 10 minuten twaalf kanonschoten (fig. 136). Zij die naast de stukken geplaatst waren om waarnemingen te doen, teekenden, door middel van horloges met secondewijzers, den tijd op die verliep tus-

Fig. 136. Maat van de snelheid van het geluid.

schen het verschijnen van het licht en het hooren van het geluid. Deze werd bevonden 54s.6 te zijn. Dit was juist de tijd dien het geluid noodig had, om van de eene plaats naar de andere voortgeplant te worden; want wij zullen bij de behandeling van het licht zien, dat dit met zulk eene groote snelheid voortgeplant wordt, (77000 mijlen in ééne seconde) dat de tijd, dien het noodig heeft om eenen afstand van 18612 meters te doorloopen, geheel buiten rekening kan blijven. Men kwam dus tot deze slotsom, dat het geluid 18612 meters in 54s,6 doorloopt, d. i. 340,89 meters in ééne seconde.

Gedurende de proef die wij beschreven, was de tempe-

ratuur der lucht, 16°. Bij eene lagere temperatuur wordt de lucht dichter, en vermindert de snelheid van het geluid. Bij 10°, de gemiddelde temperatuur in ons klimaat, is de snelheid van het geluid slechts 337 meters en bij 0°, slechts 333.

Onder de zeer nauwkeurige bepalingen van de snelheid van het geluid in de lucht bekleedt die, welke in de maand Junij des jaars 1823 door Moll en van Beek te Utrecht verricht is, de eerste plaats. Zij kozen twee kleine heuvels in de nabijheid van genoemde stad uit, wier afstand 17669 meters bedroeg en vonden na talrijke proeven, die met de grootste zorgvuldigheid genomen werden, eene snelheid bij 0° van 332,049 meters in de seconde.

De kennis van de snelheid van het geluid kan dienen om afstanden te meten. Bijv. als men wil weten op welken afstand een vuurwapen geplaatst is, waarvan het geluid pas 35 seconden na het lossen gehoord wordt, zal men zeggen: omdat het geluid in ééne seconde 337 meters doorloopt, moet het in 35 seconden 35 maal 337 meters doorloopen, d. i. 11795; dat is dus de gezochte afstand.

De snelheid van het geluid is niet dezelfde bij alle gassen. Over 't algemeen is zij grooter naarmate het gas minder dicht is. Maar in een zelfde gas worden alle geluiden, sterk of zwak, laag of hoog, met dezelfde snelheid voortgeplant. Als het anders was zou bijv. wanneer men op eenigen afstand militaire muziek hoort, de harmonie verbroken zijn. De ondervinding leert het tegendeel.

160. **Snelheid van het geluid in vloeistoffen en vaste stoffen.** Wij hebben reeds gezien dat de vloeistoffen en vaste stoffen zeer goed het geluid geleiden, maar, wat meer is, zij geleiden het veel sneller dan de lucht. Men heeft proeven genomen op het meer van Genève met een onder water gedompeld klokje, dat in trilling gebracht werd door een hamer, waarvan de steel, op 't oogenblik van den slag, een weinig kruid deed ontvlammen op de oppervlakte van het water. Men vond dat de snelheid van het geluid in het water 1535 meters in de seconde bedraagt, d. i. meer dan viermaal die, welke in de lucht plaats heeft. Men kan gemakkelijk bemerken, dat het geluid in de vaste stoffen sneller *wordt voortgeplant* dan in de lucht. Men heeft slechts zijn

oor te houden tegen een vrij lange ijzeren staaf, terwijl een ander met een hard voorwerp tegen het andere uiterste klopt. Nu verneemt men twee op elkander volgende geluiden, het eerste door de staaf overgebracht, het tweede door de lucht. Men heeft op die wijze gevonden dat de snelheid van het geluid in ijzer zeventien maal grooter is dan in de lucht. Zij is niet even groot in de andere metalen.

161. **Reflexie of terugkaatsing van het geluid.** Wij zagen dat het geluid zich in de lucht voortplant, door middel van bolvormige golven, nu verdikt, dan verdund, welke het geluid gevende ligchaam tot middelpunt hebben en daar omheen grooter worden in alle richtingen (fig. 134). Zoo lang de massa lucht waarin de geluidsgolven zoo voortgeplant worden niet ophoudt, houden ook de golven niet op; maar als er iets in den weg komt, dat ze tegen houdt, worden zij als teruggestooten door deze hindernissen, als een elastieke bal, die tegen eenen muur stoot. Zij nemen eene nieuwe richting; dit drukt men uit door te zeggen dat zij *teruggekaatst* worden.

De terugkaatsing van het geluid, of liever van de geluidsgolven, volgt dezelfde wetten als de terugkaatsing van de warmte en het licht. Deze wetten zullen wij later leeren kennen.

162. **Echo en weergalm.** Echo noemt men zekere herhaling van een geluid, ten gevolge van de terugkaatsing der geluidsgolven tegen eene min of meer verwijderde hindernis. Bij voorbeeld, wanneer men met eene sterke stem een zin van eenige woorden uitspreekt, op zekeren afstand van een bosch, eene rots, een gebouw, gebeurt het somtijds, dat men denzelfden zin als door iemand anders in de verte hoort herhalen. Het zijn de geluidsgolven die terugkeeren, teruggekaatst door het bosch, de rots of het gebouw. Om echter het teruggekaatste geluid van het uitgesprokene te kunnen onderscheiden, is het noodzakelijk dat men minstens 34 el ongeveer van de terugkaatsende oppervlakte verwijderd zij.

Het is niet mogelijk meer dan vijf syllaben duidelijk te hooren in ééne seconde. Daar de snelheid van het geluid 340 meters in eene seconde bedraagt (zie 159), volgt daaruit, dat het geluid in het vijfde gedeelte van eene seconde 68 ellen doorloopt. *Wanneer nu het* terugkaatsende voorwerp 34 el-

len verwijderd is, zal het geluid om te gaan en weder te keeren 68 ellen moeten afleggen. Het zal dus een vijfde seconde noodig hebben, bij gevolg zal die echo ééne lettergreep, dat is de laatste, duidelijk weergeven, maar alleen die, omdat, wat de anderen betreft, iedere teruggekaatste lettergreep zal vermengd worden met de volgende uitgesproken lettergreep. Wanneer de terugkaatsende oppervlakte zich op tweemaal 34 ellen afstand bevindt, zal de echo 2 lettergrepen weergeven; als zij driemaal 34 ellen verwijderd is, 3 lettergrepen en zoo voort.

Er zijn ook echo's die meermalen hetzelfde geluid herhalen. Dit verschijnsel wordt teweeg gebracht, wanneer twee terugkaatsende oppervlakten tegenover elkander geplaatst, twee evenwijdige muren bij voorbeeld, elkander de geluidsgolven over en weder terugzenden. Zoo vermeldt men bijv. zulk een echo, drie mijlen van Verdun, gevormd door twee torens met evenwijdige zijwanden, 50 à 60 ellen van elkander verwijderd. Wanneer men zich er tusschen plaatst en hardop een woord uitspreekt, wordt het twaalf malen herhaald. De echo's wijzigen over 't algemeen het geluid; sommige herhalen het met geraas, andere op een spottenden of op een klagenden toon.

Onder de echo's, die vermelding verdienen, noemen wij nog de volgende:

de echo bij het graf van Metella, gemalin van Crassus, die 8 maal het 1e vers der Aeneïs herhaalt, dat uit zes voeten bestaat;

de beroemde echo bij het slot Simonnetta bij Milaan, welke door de zijvleugels van het slot gevormd wordt en een pistoolschot uit een der vensters van het hoofdgebouw 56 maal herhaalt;

de echo aan den Rijn, bij den oever der Nahe, tusschen Coblenz en Bingen, die 17 maal een woord doet hooren.

Verder nog die van de huitenplaats *Rustrijk* op den Muiderberg bij Muiden. Men vindt daar een ouden muur, in den vorm van een halven cirkel, zeven voet hoog met eene schuine rollaag, die men op één voet mag schatten. De middellijn van den cirkel is 109 voeten. Het is geheel beplant met wijnstokken. Vijftien voeten ten noorden achter *dezen muur is* eene heg, die 2 of 3 voet boven hem uit-

steekt, en op eenigen afstand verder staan hooge boomen. Tegenover den muur staande heeft men vóór zich eenige bedden met moeskruiden en achter zich eenen anderen halven cirkel van latwerk, geslagen aan 35 palen om er vruchtboomen aan te leiden, terwijl de afstand van het middelpunt des muurs tot dat aan het latwerk ruim 122 voeten bedraagt. Bevindt zich nu iemand op 53 voeten afstand van het middelpunt des muurs en een ander op 17 voeten westelijk van hem, en spreekt deze laatste zacht of hard geheele verzen uit, dan herhaalt de echo deze allen één voor één. En het verwonderlijkste hiervan is, dat de echo niet schijnt terug te komen *van den muur* maar *uit den grond.* Hoe lang deze echo bestaan heeft is niet met juistheid bekend, alleen dit weet men, dat reeds in het jaar 1613 van haar melding gemaakt wordt.

Nog verdient ook vermelding de echo van het huis *de Poll* bij Zutphen, welke, indien de omstandigheden (de wind bijv. en de plaatsing van den spreker) gunstig zijn, ook verscheiden syllaben achter elkander doet hooren.

Eene echo, die zeer bijzonder is, vindt men 6 of 700 schreden van de Abdij van St. George te Rouaan. Als iemand daar ter plaatse zingt hoort hij zijn eigen stem, maar geene echo; zij die toeluisteren hooren alleen de echo en dat wel met verwonderlijke verheffing en daling in den toon. De echo schijnt nu eens van nabij, dan eens van verre te komen; nu eens hoort men het geluid zeer duidelijk, dan weer slechts ter nauwernood; de een hoort slechts eene enkele stem, andere hooren er vele; de een hoort de echo ter regter-, de ander ter linkerzijde; met één woord, naar gelang van den verschillenden stand van hen die luisteren en van hem die zingt, wordt de echo op verschillende wijze vernomen.

Sommige der hierboven vermelde echo's bestaan niet meer, vooral die haar wezen aan gebouwen of bosschen te danken hadden; of zij zijn door verandering aan deze gebouwen of bosschen ook zeer veranderd.

Zij hebben echter eene historische beroemdheid en kunnen ook ter vergelijking voor nieuw gevondene dienen.

Wij hebben gezien dat er eene duidelijke echo is, zoodra het voorwerp, dat de geluidsgolven terugkaatst, 34 ellen of meer verwijderd is; maar wat gebeurt er als het op kleineren

afstand gelegen is? Daar het geluid dan minder dan 34 ellen heeft te doorloopen, zoo om te gaan als om terug te keeren, volgt daaruit dat het teruggekaatste geluid terug komt vóór een vijfde seconde en zich dan verwart met het uitgesproken geluid. Men kan ze dus niet afgescheiden hooren, maar het geluid wordt sterker. Dit drukt men uit door te zeggen, dat er een *weergalm* is. Iedereen heeft opgemerkt dat iemand, die in een gesloten vertrek spreekt, veel beter gehoord wordt, dan in de open lucht. De weergalm is sterker naarmate de wanden, waartegen de geluidsgolven terugkaatsen, veerkrachtiger zijn In onbewoonde of niet gestoffeerde huizen trillen de muren, de vloeren, de zolderingen gemakkelijk, en men weet hoe het geluid van voetstappen en de stem daar weergalmen. Integendeel daar waar behangsels en gordijnen zijn, die weinig veerkrachtig zijn en het geluid slecht weerkaatsen, is er geen weergalm in de vertrekken.

163. **Oorzaken die de sterkte van het geluid wijzigen.** Velerlei oorzaken wijzigen de sterkte van het geluid, te weten: de afstand, de uitgebreidheid der trillingen, de dichtheid der lucht, de windrichting en de nabijheid van ligchamen, die in trilling kunnen komen.

1°. Het is een welbekend verschijnsel dat het geluid zwakker wordt, naarmate men zich verwijdert van de plaats, waar het wordt voortgebracht. Zijne sterkte vermindert dan zelfs vrij spoedig, want het is bewezen dat het in omgekeerde reden staat tot het vierkant van den afstand; d. i. op een dubbelen afstand is het geluid viermaal, op een driedubbelen afstand negenmaal minder sterk; dus moet men viermaal harder schreeuwen om zich op een dubbelen afstand te doen hooren.

2°. De sterkte van het geluid neemt af met de uitgebreidheid der trillingen van het geluidgevende ligchaam. Bijv. als men eene metalen snaar waarneemt, die men trillen doet, ziet men haar eerst trillingen doen van eene groote uitgebreidheid, en dan is het geluid het sterkst; het wordt zwakker naarmate de trillingen in uitgebreidheid afnemen. Het langzamerhand verzwakken van het wegstervende geluid der laatste slagen van eene klok, tot dat het geheel ophoudt, heeft dezelfde oorzaak.

3°. De dichtheid van de lucht oefent ook invloed uit op *de sterkte van het* geluid. Wij hebben reeds gezien, dat

et geluid zwakker wordt op hooge bergen, waar de lucht ıinder dicht is, en onder den ontvanger van de luchtpomp, 'anneer men er de lucht verdunt (zie 157). Gedurende sterke orst hoort men op verderen afstand, omdat de lucht dichter ı en meer gelijk. De landlieden voorspellen regen naar et geluid van hunne dorpsklok. Inderdaad wordt dit geluid ewijzigd door den waterdamp, die in de lucht is, die er e sterkte en veerkracht van wijzigt.

4°. De sterkte en de richting van den wind oefenen een rooten invloed uit op de sterkte der geluiden en op de ıogelijkheid om hem op bepaalde afstanden te hooren.

Als het geluid tot ons komt van den kant, waar de wind 'an daan komt, hooren wij op grooten afstand; het omge- :eerde. is het geval wanneer de wind in eene tegenovergetelde richting waait. Iedereen heeft dit kunnen opmerken ıij het geluid van de stem, van klokken en van kanonnen.

5°. Het geluid kan aanmerkelijk in sterkte winnen, wanıeer het geluid gevende ligchaam in aanraking met, of slechts n de nijbijheid van een ligchaam is, dat mede kan gaan :rillen. Bijv. eene snaar in de lucht gespannen, van ieder geluid gevend ligchaam verwijderd, geeft maar een zeer zwak geluid; als men haar laat trillen boven eene kast met lucht gevuld, zoo als bij de guitare, de viool, de bas, geeft zij een vol en sterk geluid. Deze versterking wordt veroorzaakt door het medetrillen van de kast en de lucht, die er in is. Daardoor zijn de klankkasten bij de snaarinstrumenten zoo nuttig. De ouden plaatsten om dezelfde reden op hunne tooneelen weergalmende koperen bekkens, om de stem der tooneelspelers te versterken.

164. **Sterkte van het geluid in de spreekbuizen.** De altijd toenemende grootte der geluidsgolven, terwijl zij voortgeplant worden in den vorm van bollen, is de oorzaak van de verzwakking der geluiden door de verwijdering. Als men nu de golven dwingt zich slechts in ééne richting voort te planten, zoo als plaats heeft bij eene lange spreekbuis, kan het geluid worden overgebracht zonder merkbare verandering. In eene 950 ellen lange buis, die gebruikt wordt voor de waterleiding in Parijs, heeft Biot gemakkelijk, van het eene eind naar het andere, op zachten toon, met iemand anders kunnen spreken. En de stem werd zoo goed voortgeplant dat

er maar één middel was om niet gehoord te worden, zegt de beroemde geleerde, en dat was: *in het geheel niet te spreken.*

De eigenschap, die de buizen hebben, van geluiden op groote afstanden te geleiden, heeft men zich in de hôtels en groote gestichten ten nutte gemaakt. Het is daartoe genoeg zich van caoutchouc-buizen te bedienen, waarvan het eene uiterste in het vertrek van den directeur uitkomt, terwijl het andere uitkomt in het verblijf der dienstboden of de werkplaats, waar men zijne bevelen heeft over te brengen. Men zorgt de beide uiteinden van hoorn te laten maken; hij die

Fig. 137. Voortplanting van het geluid in de spreekbuizen.

spreekt, houdt zijn mond aan het eene (fig. 137), terwijl hij die hoort, zijn oor tegen het andere aanlegt.

158. **Scheepsroeper.** De scheepsroeper is, zoo als zijn naam aanduidt, een werktuig, dienende om de stem op groote afstanden over te brengen. Het is eene kegelvormige blikken buis, eindigende in een verwijd gedeelte, *de trechter* genaamd. Aan het andere einde is het mondstuk. Op zee maakt men veel gebruik van dit werktuig, waardoor de stem boven het geraas der golven gehoord wordt, en alzoo het kommandeeren *der bewegingen* mogelijk wordt, onder de hevigste stormen

(fig. 138). Kircher, een geleerde duitsche jeziet, te Rome in 1680 gestorven, zegt dat Alexander de Groote dezen roeper kende en er zich van bediende om zijne legers te kommandeeren.

Men heeft lang de werking van den roeper verklaard door eene reeks van terugkaatsingen der geluidsgolven tegen zijne binnenwanden, waardoor de stem slechts zou voortgeplant

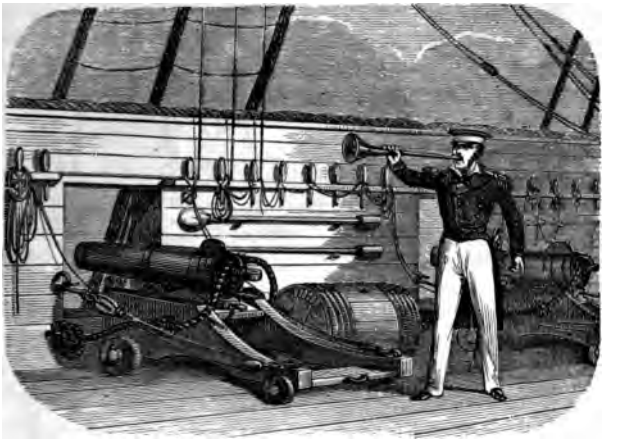


Fig. 138. Scheepsroeper.

worden in de richting van het werktuig; maar daar dit integendeel de stem naar alle richtingen voortplant, moet de werking veeleer toegeschreven worden aan eene versterking van de stem, veroorzaakt door de kolom lucht, die in den roeper is, welke lucht zelve in trilling komt, terwijl men in het mondstuk spreekt.

166. **Hoorbuis.** De *Hoorbuis* waarvan *hardhoorende* menschen gebruik maken, is niet anders dan een omgekeerde roeper. Hier is het verwijd gedeelte naar den sprekenden persoon gekeerd, terwijl de top van den kegel in het oor geplaatst is, zie fig. 139. De golven zoo geconcentreerd in het gehoorkanaal werken sterker op het gehoorvlies.

Bij den mensch en bij vele dieren is de schulp van het *oor een wezenlijke hoorbuis*, bestemd om de geluidsgolven

op te vangen. De meeste viervoetige dieren hebben dit deel van het gehoorzintuig aanmerkelijk lang en beweegbaar. Dit

Fig. 139. Hoorbuis.

maakt het geschikter om het dier te doen weten, van welken kant het geluid komt.

HOOFDSTUK. II.

MUZIKAAL GELUID, NATUURKUNDIGE THEORIE DER MUZIEK.

167. **Onderscheid tusschen muzikaal en niet muzikaal geluid.** Muzikaal geluid of *toon* is dat, hetwelk ontstaat uit eene opeenvolging van aanhoudende en isochronische, d. i. even lang durende trillingen. Het heeft eene muzikale waarde, die het oor kan waardeeren en met die van andere geluiden vergelijken. Het niet muzikaal geluid daarentegen is een alleenstaand geluid, te kort dan dat het oor er eene muzikale waarde aan herkennen kan; bijv. het klappen van de zweep, een schot uit een vuurwapen; of wel, het is een verward mengsel van vele niet samenstemmende geluiden, gelijk het *rollen van den* donder, het loeijen der golven

168. ***Lage en hooge toonen.*** De toon heeft eene hoeda-

nigheid, de *hoogte*, die van het getal trillingen, in een gegeven tijd door het geluidgevende ligchaam gemaakt, afhangt. Bijv. als eene snaar 128 trillingen in eene seconde doet, terwijl eene tweede geheel gelijk aan de eerste er 160 in denzelfden tijd maakt, zijn de twee toonen, die zij doen hooren geheel verschillend. De eerste is *dieper* of *lager*, de andere *hooger*.

Men noemt over 't algemeen *lage* toonen die, welke uit een klein getal trillingen, en *hooge* die, welke uit een groot getal trillingen ontstaan. Evenwel is de laagte en hoogte der toonen slechts betrekkelijk: een toon die laag is in vergelijking met eenen anderen, kan hoog zijn met betrekking tot eenen derden. Een goed gerangschikte opeenvolging en eene gelukkige verbinding van hooge en lage toonen te vormen is het onderwerp der kunst, die men muziek noemt. Twee toonen van een zelfde getal trillingen worden *eenstemmig* (*unisoon*) genoemd.

169. **Grens der waarneembare toonen.** Savart, natuurkundige, beroemd door zijne werken over de geluidsleer, in 1841 te Parijs overleden, heeft onderzocht welke de grens is van de laagste en van de hoogste toonen, die het oor waarnemen kan. Met behulp van werktuigen, door hem voor deze soort van onderzoeking uitgedacht, heeft hij gevonden, dat de grens der laagste toonen met 16 trillingen in de seconde overeenstemt. Bij een minder getal trillingen neemt men geen toon meer waar. Dezelfde natuurkundige heeft gevonden, dat de grens van de hoogste toonen 48000 trillingen in de seconde is. Men kan begrijpen welk een groot getal toonen tusschen deze twee grenzen ligt. Maar de toonen die men in de muziek, vooral in den zang gebruikt, zijn veel meer beperkt. Door de menschelijke stem met het geluid van instrumenten, waarvan het getal trillingen bekend was, te vergelijken, heeft men gevonden, dat eene mannenstem 190 trillingen in de seconde maakt, voor de laagste, 678 voor de hoogste toonen. Bij de vrouwen komen de laagste toonen der stem overeen, met 572 trillingen, de hoogste met 1606.

170. **Muzikale schaal, gamme.** Ons oor onderscheidt niet alleen tusschen meerdere gegeven toonen, welke de laagste, welke de hoogste is; maar het kan ook de betrekkingen meten, die bestaan tusschen de getallen van trillingen van iederen toon. *Wij kunnen wel* niet juist hooren of voor eenen

toon haar getal twee-, driemaal grooter is, dan voor eenen anderen, maar telkens, als de getallen trillingen van twee opeenvolgende of samenklinkende toonen in eene eenvoudige verhouding staan, wekken deze toonen in ons eenen aangenamen indruk op, die afwisselt met de verhouding van de trillingen der twee toonen en die het oor zeer goed kan onderscheiden. Vandaar een reeks van toonen, eigenaardig gekenmerkt door verhoudingen, die haren oorsprong in den aard zelf van onze bewerktuiging hebben. Deze stellen de zoogenaamde *muzikale schaal* te zamen.

In deze reeks komen de toonen in dezelfde verhoudingen weder terug bij periodes van zeven. Elke periode noemt men *gamme*, en de zeven toonen of *noten* van iedere gamme: *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*. De zes eerste namen zijn de eerste syllaben van de zes eerste verzen van den lofzang, welken men te Rome op het feest van St. Jan zingt. De naam *si* is eerst later aan de zevende noot gegeven. Het woord *gamme* komt van *gamma*, de derde letter van het grieksche alphabet. Guido van Arezzo in de XIe eeuw, welke de eerste was, die op de gedachte kwam om de noten voor te stellen door punten op evenwijdige lijnen, noemde deze lijnen met namen van letters, en voor de eerste lijn had hij de letter gamma gekozen.

Wanneer men door 1 het aantal trillingen voorstelt van den grondtoon *ut* van de gamme, dan leert de proef, dat het aantal trillingen van de andere noten is als volgt:

	ut	re	mi	fa	sol	la	si	ut
aantal trillingen	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2.

Deze cijfers stellen niet het volstrekt aantal maar het betrekkelijk aantal trillingen voor. Kent men het volstrekt aantal trillingen van den grondtoon *ut*, dan kan men er het aantal van de andere noten uit afleiden, door dit getal te vermenigvuldigen met $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, enz.... 2, en men vindt alzoo, dat bij het octaaf het aantal trillingen juist dubbel zoo groot is als bij den grondtoon.

171. **Intervallen, accoorden.** Men noemt intervallen de verhouding van den eenen toon tot den anderen, d. i. de verhouding tusschen de getallen trillingen, die de toonen te*weeg brengen.* Den interval tusschen twee opeenvolgende no-

ten van de gamme noemt men een *seconde;* dit zijn de intervallen tusschen *ut* en *re*, *re* en *mi*, *mi* en *fa*, enz. Als tusschen de noten, welke men onderling vergelijkt, één, twee drie, vier of vijf noten inliggen, noemt men de intervallen *terts*, *quart*, *quint*, *sext*, *septime*, *octaaf*. Bijv. de verhouding of interval tusschen *ut* en *mi* is eene *terts*, tusschen *ut* en *fa* eene *quart*, tusschen *ut* en *sol* eene *quint*, tusschen *ut* en *la* eene *sext*, tusschen *ut* en *si* eene *septime* en tusschen *ut* en *ut* van de volgende gamme een *octaaf*.

Accoord noemt men het gelijktijdig bestaan van meerdere toonen. Als het oor zonder moeite de verhouding tusschen twee toonen kan ontdekken, en dit gebeurt altijd als die verhouding eenvoudig is, vormt het accoord van die twee toonen een *consonnant*, maar als de getallen trillingen in eene ingewikkelde verhouding tot elkander staan, wordt het oor er onaangenaam door aangedaan, en men noemt het dan een *dissonnant*.

Het eenvoudigste accoord is de *éénstemmigheid* of *unisoon*, waarin de getallen trillingen gelijk zijn; daarop volgt de octaaf, waarin het getal trillingen van een toon het dubbele bedraagt van dat van den anderen; dan de quint, waarvan de verhouding der toonen als van 3 tot 2 is; de quart waarin die verhouding als van 4 tot 3 is; en eindelijk de terts waar de verhouding als van 5 tot 4 is.

Men noemt *volmaakt accoord* drie gelijktijdige toonen, van die hoedanigheid, dat de getallen trillingen, die hen veroorzaken, tot elkander staan in de verhouding van de getallen 4, 5 en 6. Bijv. de drie noten *ut*, *mi* en *sol* vormen een volmaakt accoord; zoo ook *sol*, *si* en *re*. Deze accoorden brengen eene alleraangenaamste gewaarwording voor het oor te weeg.

172. **Stemvork.** De *stemvork* is een klein werktuig, dat dient om de muziek-instrumenten, die een vasten toon hebben, zoo als de piano, te stemmen Zij is vervaardigd uit een lemmet van staal, dat naar binnen omgebogen is, zoo als fig. 140 doet zien, waar zij geplaatst is op eene houten doos aan één einde open en dienende om het geluid te versterken, dat anders zeer zwak zou zijn. Men doet de stemvork geluid geven door er met een strijkstok langs te strijken, of door een houten cylinder, dien men tusschen de twee tanden der *vork houdt, welke* men daardoor van elkander verwij-

dert, plotseling weg te trekken. Ééns verwijderd van hunnen evenwichtsstand, beginnen de twee tanden te trillen terwijl

Fig. 140. Stemvork.

zij een toon vormen, die onveranderlijk is bij iedere stemvork. De toon, die gewoonlijk door de stemvorken werd voortgebracht, was de *la* gelijk aan 856 eenvoudige trillingen. Daar men evenwel bemerkte dat op de verschillende theaters van Europa de toon steeds hooger werd, heeft eene commissie in 1859 te Parijs, een *normalen stemvork* aangenomen, makende 870 eenvoudige trillingen per seconde. Deze stemvork, die de normale *la* voortbrengt, is ingevoerd bij alle muzikale inrichtingen in Frankrijk en een model er van berust in het Conservatoire de Musique te Parijs.

HOOFDSTUK III.

DWARSTRILLINGEN DER SNAREN. SNAAR-INSTRUMENTEN.

173. **Dwarstrillingen der snaren.** Wij hebben gezien (zie *dat een veerkrachtige snaar aan hare uiteinden vast-*

gemaakt en gespannen, wanneer zij uit haren evenwichtsstand gebracht is, zoodra zij vrij is, er langzamerhand weder toe nadert, terwijl zij een aantal trillingen ondergaat die een' toon voortbrengen. De snaren, van welke men zich bij de muziek bedient. zijn gewoonlijk van lammeren- of schapendarmen gemaakt. Men doet deze snaren trillen met een strijkstok, zoo als wanneer men viool of bas speelt; of wel door ze tusschen de vingers te knijpen, zoo als men dit doet bij de guitar en de harp, of eindelijk door kloppen met kleine hamertjes, zoo als bij de piano. De trillingen, op deze verschillende wijze verkregen, noemt men *transversale* of dwarstrillingen, om haar van eene andere soort van trillingen te onderscheiden, die voortgeplant worden in de lengte der snaren, en die men daarom *longitudinale* of trillingen in de lengte noemt. Daar deze laatste in de muziek geene toepassing hebben, is het niet noodig er ons hier mee te bemoeijen.

174. **Wetten der dwarstrillingen van de snaren.** Het getal dwarstrillingen van eene snaar in een gegeven tijd, bijv. in eene seconde, en alzoo de toon, dien zij geeft, zijn verschillend naar hare grootte, dikte, spanning en dichtheid, volgens de volgende wetten:

1°. Bij gelijke spanning *is het getal trillingen van eene snaar in omgekeerde reden met hare lengte;* d. i. dat eene snaar die bijv. 18 trillingen doet, er 36 zal doen wanneer men haar tweemaal korter maakt; 54 wanneer men haar driemaal korter maakt, en zoo voort. Deze eigenschap der snaren heeft men zich bij de viool en bij de bas ten nutte gemaakt; door bij deze instrumenten de vingers op de snaren te drukken maakt men ze naar willekeur korter; het getal trillingen wordt dus grooter; dit verhoogt den toon.

2°. Bij gelijke spanning en lengte *is het getal trillingen eener snaar in omgekeerde reden met hare dikte*, d. i. hoe dunner de snaar is, hoe grooter het aantal trillingen en hoe hooger de toon is, dien zij geeft. Bij voorbeeld bij de viool maakt de quint, d. i. de fijnste snaar, het dubbel getal trillingen van eene snaar, die tweemaal zoo dik is, d. i. van een tweemaal grooteren diameter.

3°. Bij gelijke lengte en dikte, wanneer de spanning vermeerdert, *neemt het getal trillingen toe in rechte reden met den vierkantswortel van de spanning*, d. i. bij eene viermalen groo-

tere spanning wordt het getal trillingen slechts verdubbeld; bij eene negenmalen grootere spanning wordt het getal trillingen driemaal grooter en zoo voort. Vandaar het middel om eene snaar min of meer lage of hooge toonen te doen geven door haar met schroeven te spannen, zoo als dat bij de snaar-instrumenten wordt toegepast.

4°. Eindelijk, als alle overige omstandigheden gelijk zijn *is het getal trillingen in omgekeerde reden met den vierkantswortel van de dichtheid der snaren.* Hoe dichter dus de snaren zijn, hoe minder gemakkelijk zij trillen en hoe lager de toonen zijn die zij geven.

Volgens de bovenstaande wetten, kan men begrijpen hoe gemakkelijk het is het getal trillingen der snaren te wijzigen, en haar een groote verscheidenheid van de toonen te geven, van de laagste tot de hoogste, die in de muziek gebruikt worden.

175. **Bevestiging van de waarheid der wetten omtrent de trillingen der snaren, sonometer.** — De waarheid van de wetten omtrent de trillingen der snaren wordt bevestigd, door den

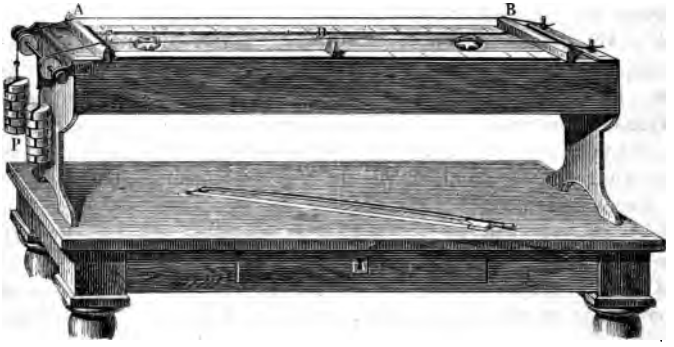


Fig. 141. Sonometer.

sonometer, voor welks uitvinder men Pythagoras, omstreeks 600 j. v. C., houdt. Hij bestaat uit eene doos van wit hout, ongeveer één el twintig duim lang (fig. 141). Op deze doos zijn twee vaste kammen A en B, en eene losse kam D. Over *deze kammen* gaan twee snaren C D en A B, aan éénen

kant stevig vast gemaakt, aan den anderen over rollen loopende, waar zij worden gespannen door gewichten P. Indien nu de twee snaren gelijk aan elkander zijn, maar de kam D de eerste in twee gelijke deelen verdeelt, vindt men dat de toon door de helft C D gegeven, als men die laat trillen, een octaaf hooger is dan die van de geheele snaar A B. Dit toont aan dat het getal trillingen verdubbeld is en bewaarheidt de eerste wet.

Om de waarheid van de tweede wet aan te toonen, neemt men den kam D weg, en neemt men de snaar A B tweemaal dikker dan de andere snaar, maar beiden door een gelijk gewicht gespannen. Nu vindt men dat de toon, die door de dunste snaar gegeven wordt, weder een octaaf hooger is dan die van de snaar A B; en dit bewijst dat het getal trillingen tweemaal grooter is.

Eindelijk, als de twee snaren even lang en even dik zijn, is de toon van de eene, wanneer die door een viermaal zwaarder gewicht gespannen wordt, weder een octaaf hooger, dan die door de andere snaar gegeven wordt. Dit toont aan dat het getal trillingen verdubbeld is. Bij een negenmaal grooter gewicht verkrijgt men een toon die een octaaf hooger ligt dan de quint van den oorspronkelijken toon; dus is hier het getal trillingen verdriedubbeld. Hierdoor is de derde wet bewaarheid.

Om de vierde wet aan te toonen, moet men gebruik maken van snaren van verschillende dichtheid, gelijk gespannen en even dik zoowel als even lang.

176. **Snaar-instrumenten.** De snaar-instrumenten, alle gegrond op de wetten der trillingen van de snaren, worden verdeeld in instrumenten van *vasten* en van *veranderlijken* toon.

De instrumenten met een *vasten toon*, zooals de piano, de harp, de guitar, de lier, hebben eene snaar voor elke noot, of wel hebben hunne halzen verdeeld, door eenigszins opstaande kammen, zoodat, wanneer men den vinger tusschen twee daarvan plaatst, de snaar eene bepaalde hoeveelheid korter wordt, terwijl zij gaat rusten op de kammen en zoo een geluid geeft, welks zuiverheid niet afhangt van het talent van den bespeler. De kammen zijn zoo geplaatst, dat de hoogte van het geluid bij halve toonen opklimt.

Bij instrumenten met afwisselende toonen integendeel zijn

de snaren zeer klein in getal, maar men verandert er naar willekeur de lengte van, door middel van de vingerzetting. Zoo zijn de viool, de alt, de bas of violoncel, en de contrebas. De contre-bas heeft slechts drie snaren; de andere instrumenten ieder vier. De snaren van deze allen bestaan uit darmen; zij worden in trillingen gebracht door een strijkstok. Door met een vinger op deze snaren te drukken, maakt men ze naar willekeur korter en maakt den toon daardoor hooger. Al deze instrumenten zijn moeijelijk te bespelen en vereischen een zeer juist gehoor; maar in de handen van een knap kunstenaar doen zij eene buitengemeene uitwerking. Sedert een aantal jaren zijn zij de ziel der orchesten, en de schoonste muziekstukken zijn voor hen gecomponeerd.

HOOFDSTUK IV.

GELUIDGEVENDE PIJPEN EN BLAAS-INSTRUMENTEN.

177. **Voortbrenging van het geluid in de geluidgevende pijpen.** Men noemt *geluidgevende pijpen* holle buizen, waarin men geluiden voortbrengt door de kolom lucht, die zij bevatten, te doen trillen. Bij de voortbrenging van het geluid, zooals wij die tot hiertoe hebben beschouwd, was het geluidgevende ligchaam altijd een vast, veerkrachtig ligchaam, welks trillingen aan de lucht werden medegedeeld, terwijl deze niet anders was dan een voermiddel van het geluid. Bij de geluidgevende pijpen nu is dit niet meer het geval; hier is het trillende ligchaam de luchtkolom die zij bevatten, en niet hare wanden. Het geluid hangt ook volstrekt niet van de stof der pijpen af, maar alleen van hare afmetingen en van de wijze waarop de lucht in trilling gebracht wordt.

Als men slechts in de pijpen blies zou er geen toon uit voortkomen, maar alleen eene voortgaande beweging van de lucht. Opdat er een toon voortgebracht worde, moet, door welk middel ook, in de lucht eene snelle opvolging van verdichtingen en verdunningen opgewekt worden, die vervolgens meegedeeld worden aan de geheele kolom lucht in de pijp. Vandaar dat het noodig is om aan het mondstuk, dat is te [illegible] *aan het* uiteinde van de pijp waar de lucht intreedt,

nen zoodanigen vorm te geven, dat deze slechts bij tus-
henpoozen en niet geleidelijk kan binnentreden. Naar hare
richting om de lucht zoo in trilling te brengen, worden
geluidgevende pijpen verdeeld in *pijpen met een mondstuk*
(pwerk) en *pijpen met tongwerk.*

178. **Pijpen met een mondstuk (lipwerk.)** Bij de pijpen met
n mondstuk (lipwerk) zijn alle deelen van het mondstuk
ast. Deze pijpen zijn van hout of metaal, rechthoekig of
lindrisch, en hebben altijd eene groote lengte in verhou-
ing tot hare middellijn. Fig. 142 stelt een pijp met mond-

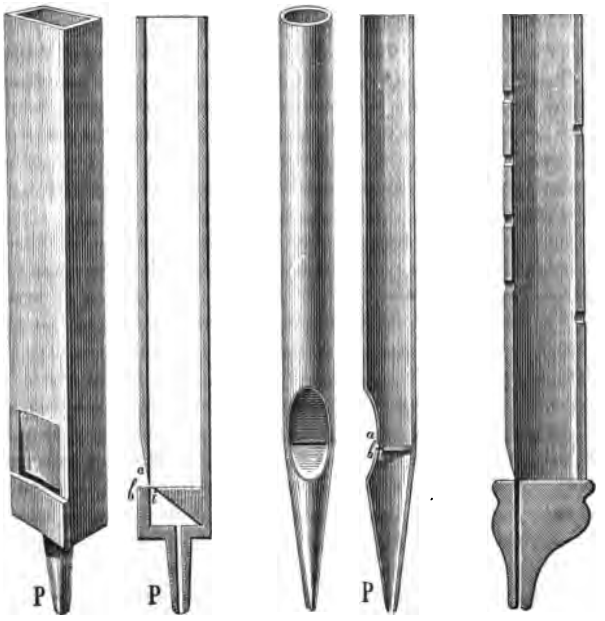


Fig. 142. Fig. 143. Fig. 144. Fig. 145. Fig. 146.
Pijpen met lipwerk.

stuk voor, van hout en rechthoekig, fig. 143 stelt er de
overlangsche doorsnede van voor. Deze doorsnede doet het
binnenwerk zien. Van deze pijp wordt het onderste

ijn

de *voet* genaamd; hierdoor komt de lucht binnen. Bij het uittreden uit den *voet* gaat de lucht door eene nauwe sleuf *i*, die men den *dag* of het *windgat* noemt. Hier tegenover is in den tegenoverstaanden wand eene dwarsopening de *mond;* daarvan is de rand *a* schuins geslepen, de *bovenlip* en de rand *b*, de *onderlip*.

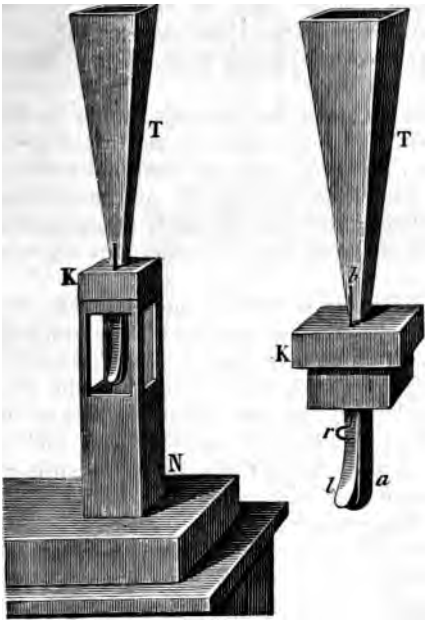
De stroom lucht nu, die door het windgat heengaat, wordt gebroken tegen den schuins geslepen kant van den bovenlip, wordt daar zamengeperst, werkt door de veerkracht weder terug op den stroom, die voorgaat te komen, en houdt hem tegen. Maar dit tegenhouden heeft slechts gedurende een zeer korten tijd plaats, omdat de lucht door den mond ontsnapt, en de stroom lucht, die uit den voet komt, dadelijk volgt, en zoo verder gedurende den geheelen tijd, dat men lucht doet toestroomen. Hierdoor ontstaan trillingen, die medegedeeld worden aan de lucht die in de pijp is, en die te sneller zijn, naarmate de snelheid van den stroom grooter is, en naarmate de bovenlip dichter bij het windgat (den dag) is geplaatst.

Het lipwerk, dat wij nu beschreven, wordt in de orgelpijpen gebruikt. Fig. 144 stelt het lipwerk voor van eene cilindrische pijp, zooals bij de orgels veel gebruikt wordt, en fig. 145 doet er de overlangsche doorsnede van zien. Dezelfde letters geven dezelfde gedeelten aan als in fig. 143. Fig. 146 stelt het lipwerk voor van het fluitje en de flageolet; dit heeft veel overeenkomst met de vorigen. Bij de dwarsfluit bestaat het mondstuk in een eenvoudig rond gat aan de ééne zijde in de pijp gemaakt. Door de wijze, waarop de fluitspeler zijne lippen houdt, komt de kolom lucht tegen de kanten van dit gat en wordt daar gebroken. Zoo is het ook met de Pan'sfluit en met een sleutel waarvan de pijp hol is, en waarop men fluit.

179. **Pijpen met tongwerk.** Bij deze pijpen wordt de kolom lucht in beweging gebracht door veerkrachtige plaatjes, die men *tong* noemt en die verdeeld worden in *aanslaande* en *vrije tongen*.

Aanslaande tong. — Deze tong bestaat uit een stuk hout of metaal *a* (fig. 148), dat men de groef noemt, en dat als een lepel is uitgehold in zijne langste richting. Het is vastgemaakt aan een soort van stop K, die van een gat voor-

zien is, dat de holte van het tongetje in verbinding brengt met eene lange pijp T. De groef is bedekt met een geel koperen plaatje *l*, dat men het *tongetje* noemt. Dit is in zijn gewonen toestand een weinig verwijderd van de randen van de groef; maar daar het zeer buigzaam is, kan het er gemakkelijk tegen aankomen en haar sluiten. Eindelijk komt een ijzerdraad *b r*, dien men den *stemdraad* noemt, met zijn onderste gedeelte, dat krom is, op het tongetje, en regelt zijne verwijdering van de groef. Door den stemdraad dieper



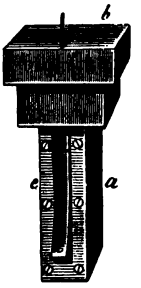


Fig. 147. Fig. 148. Fig. 149.
Pijpen met tongwerk.

of minder diep er in te steken, maakt men het trillende gedeelte van het tongetje korter of langer; hierdoor kan men het getal trillingen vermeerderen of verminderen.

De tong is van boven voorzien van een rechthoekige pijp K N *(fig. 147), die de winddrager* is. Deze pijp is aan

alle kanten gesloten, behalve aan haar voet, dien men op de luchtlade van een blaaswerk, dat hierna zal beschreven worden, bevestigt (fig. 150). Bij de lessen over de natuurkunde zijn de wanden van den winddrager bij het gedeelte, dat met het tongwerk in betrekking staat, van glas, om de trillingen van het tongetje te doen zien. Dit is in fig. 147 voorgesteld.

Wanneer men nu lucht in den winddrager doet komen, komt deze eerst tusschen het tongetje en de groef, om door de pijp T te ontkomen; maar daar de snelheid van den stroom toeneemt, komt het tongetje tegen de kanten van de groef te slaan, en daar het deze geheel sluit, gaat de stroom niet meer door.

Door zijne veerkracht nu komt het tongetje weder op zijne vorige plaats, en wordt weder meegenomen zoodra de stroom doorgaat, en zoo verder, zoodat, daar de lucht niet dan door middel van den winddrager in de pijp T overgaat, hierin dezelfde reeks van trillingen ontstaat als in de pijpen met lipwerk, hieruit volgt dat de toon hooger is naarmate de luchtstroom sneller is.

Vrije tong. — Grenié heeft in 1810 eene soort van tong uitgevonden, die men *vrije tong* noemt, omdat het tongetje, in plaats van te slaan op de randen van de groef, zooals bij het tongwerk, dat wij hierboven beschreven, in de groef dringt en hare kanten bijna aanraakt, zoodat het naar binnen en buiten trilt. Figuur 149 stelt een tongwerk van die soort voor. Hier bestaat de groef uit een klein houten kastje *a b*, welks vóórwand een geel koperen plaatje is. In 't midden daarvan is eene langwerpige opening, waarin het tongetje *l* is, dat vrij naar binnen en naar buiten kan buigen, om den luchtstroom gelegenheid te geven er door te gaan, terwijl zij dien gedurig tegenhoudt, als zij nabij de randen van de sleuf is. Een stemdraad *r* dient ook hier om de lengte van het trillende gedeelte van het tongetje te regelen. Eindelijk is dit tongwerk vastgemaakt aan een winddrager, gelijk aan dien van fig. 147.

180. **Windwerk.** Om de pijpen te doen *spreken*, hetzij zij met tongwerk, hetzij zij met lipwerk zijn, maakt men er den voet *van vast, zoo* als fig. 150 aantoont, op de gaten, welke gemaakt *zijn, in de luchtlade* of windkast van een sterken blaasbalg, dien

men met behulp van een pedaal doet werken. De lucht naar boven gedrukt door den blaasbalg S, gaat naar eene bewaarplaats R, van leder. Dáár, zamengedrukt door twee platen lood die op deze bewaarplaats liggen, gaat de lucht door eene buis A in de luchtlade, vanwaar zij zich in de buizen verspreidt. Daarvoor zijn binnen in de luchtlade kleppen *s*

Fig. 151.

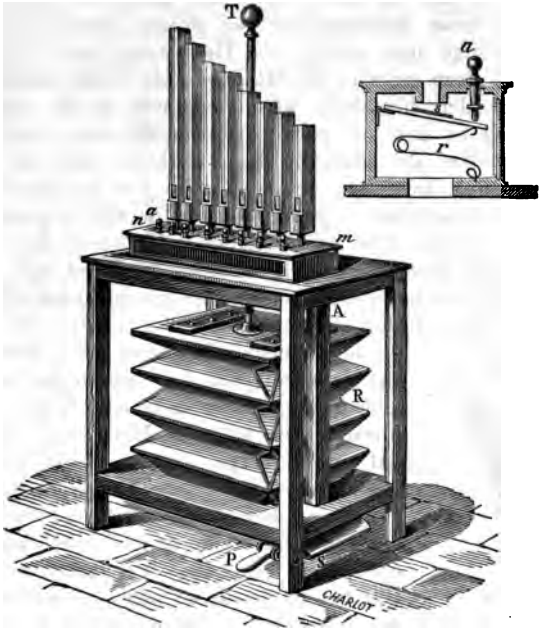


Fig. 150. Blaasbalg.

(zie fig. 151) die de openingen sluiten, waarop de pijpen passen; door het drukken op de toetsen, *a* die vóór deze laatsten geplaatst zijn, worden de kleppen geopend en laten zij de lucht door. Onder de klep is eene veer *r*, die de klep opligt, zoodra men niet meer op den toets *a* drukt.

181. **Blaas-instrumenten.** De blaas-instrumenten zijn rechte *of kromme buizen*, waaruit men geluiden haalt door er een

luchtstroom door te laten gaan. Al deze pijpen hebben eene opening waardoor de lucht binnen komt: naar den vorm van deze openingen worden de blaas-instrumenten verdeeld in instrumenten met lipwerk, met tongwerk en met bokaal. De instrumenten met lipwerk zijn de Pan'sfluit, de flageolet en de dwarsfluit. De voornaamste instrumenten met tongwerk zijn de clarinet, de hautbois, de engelsche horen en de fagot.

Het orgel, dat vooral in de kerken gebruikt wordt, is gevormd van eene samenstelling van pijpen, sommige van lipwerk, sommige met tongwerk. De stroom lucht, die komt werken op deze pijpen, wordt door vele blaasbalgen aangevoerd. Uit den blaasbalg komt de lucht in de luchtlade, vanwaar zij in deze of gene pijp overgaat door middel van kleppen, welke de bespeler doet werken, door op toetsen met hefboomen te slaan, gelijk aan die van de piano. Even als bij dat instrument zijn de toetsen parallel geplaatst, en draagt het geheel den naam *klavier*. Groote orgels hebben meer dan één klavier, die trapsgewijze geplaatst zijn.

Men heeft het orgel den koning der instrumenten genoemd; inderdaad overtreft het alle anderen in den rijkdom, de macht, en de verscheidenheid van toon. Het schijnt dat de orgels uit het oosten tot ons gekomen zijn; maar men weet niet, wie de uitvinder er van is. Men weet zekerder, dat in de vergadering te Compiègne, in 757 gehouden, koning Pepijn de ambassadeurs van keizer Constantinus Copronymus ontving, die onder andere geschenken hem ook orgels brachten. Alle historieschrijvers zijn het daaromtrent eens, dat dit de eerste orgels waren, die men in Frankrijk gezien heeft.

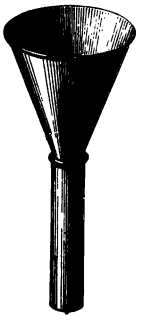


Fig. 152. Mondstuk van den hoorn.

Bokaal-instrumenten. — Bij deze instrumenten is het tongwerk weggelaten, de lippen van den kunstenaar nemen er de plaats van in. Zij trillen in een trechtervormige buis (fig. 152), die men *bokaal* of mondstuk noemt; deze eindigt in een buis van kleineren omvang die op het instrument past. Door de lippen min of meer te sluiten en te spannen, doet men het getal trillingen afwisselen.

De voornaamste instrumenten met bokaal zijn de *horen*, *trompet*, de *bazuin*, de *trombone* en de *cornet à piston*. ze instrumenten, die van geel-koper zijn, worden hoe lan- hoe wijder en eindigen in een zeer wijd gedeelte. Daaraan het hevige geluid toe te schrijven, dat die instrumenten ken, veelmeer dan aan de stof waaruit hunne wanden vaardigd zijn. Het geluid, dat de jachtwaldhoren maakt, ft eene bijzondere sterkte, zoodat het zich op verscheidene len afstand doet hooren bij stil weder; maar dit instru- nt is alleen geschikt om er fanfares op te doen hooren, dat men er geen volledige gamme op kan uitvoeren.

VIJFDE BOEK.

WARMTELEER.

HOOFDSTUK I.

ALGEMEENE OPMERKING OVER DE WARMTE. THERMOMETERS.

182. **Hypothesen over de oorzaak der warmte, warmtelee**

De gewaarwordingen van warmte en koude zijn ons ge woon, en ieder heeft opgemerkt dat hetzelfde beginsel, da in ons deze gewaarwordingen doet ontstaan, zijne werking oo op de onbewerktuigde ligchamen uitoefent. Bijv. een ligchaam wat het ook zij, voor een haard geplaatst, wordt hoe lange hoe warmer; het wordt weder koud, wanneer het van die haard verwijderd wordt. Nu is het niet de oppervlakte al leen die zoo warm en koud wordt, maar zijne geheele massa hoe hard het ligchaam ook zij. Het beginsel van de warmte kan dus voortgeplant worden op een afstand, doordringen in de stof der ligchamen, aldaar opgehoopt worden, en zich vervolgens er weder van losmaken, om andere ligchamen te gaan verwarmen.

Hier hebben de natuurkundigen, om op te klimmen tot de oorzaken der verschijnselen, uit de warmte voortkomende aangenomen dat er onweegbare en onopsluitbare (*incoërcibele*) vloeistoffen bestaan. Wij hebben reeds gelegenheid gehad hierover te spreken (zie 6). Verder hebben zij zich in hunne meeningen verdeeld, en sommigen de *hypothese van uitstraling*, anderen *die der golvingen* aangenomen. Deze hypothesen zal men terugvinden waar wij over het licht handelen.

In de hypothese van uitstraling, door Newton en de natuurkundigen van zijn school ondersteund, schrijft men de warmte toe aan eene uiterst fijne, onweegbare vloeistof, die in alle richtingen door de warmte-ligchamen wordt uitgezonden, en die, zich nu in de ligch[illegible]nde, hen dan weder verlatende, de oorzaak [illegible]ijnselen van de warmte en koude. Deze onzic[illegible] stof, die het ijzer doet

gloeijen, de metalen smelt, de ligchamen doet ontvlammen, heeft eerst den naam *vuurstof* gekregen; maar na de hervorming van de wetenschappelijke taal heeft Lavoisier, beroemd schei- en natuurkundige van het eind der vorige eeuw, er den naam *calorique* aan gegeven, naar een latijnsch woord dat *warmte* beteekent. In de hypothese der golvingen, ondersteund door Descartes, Huijgens en hunne leerlingen, verondersteld men ook eene onzichtbare, ontastbare, zeer fijne en veerkrachtige vloeistof, die men ether noemt. Maar deze vloeistof, in plaats van door de ligchamen uitgezonden te worden en zich van het eene naar het andere voort te planten, is door het heelal verspreid, in alle stoffen en ook in het volmaakt ledig aanwezig. Hierbij neemt men aan dat alle verschijnselen, die uit de warmte voortvloeijen, veroorzaakt worden door eene bijzondere trillende beweging der moleculen van de warme ligchamen, welke beweging zich aan den ether mededeelt, die haar dan weder voortplant, met eene bijna oneindige snelheid, in den vorm van golvingen, op dezelfde wijze als de lucht het geluid voortplant, zoodat alle graden van warmte en koude voortkomen uit de meerdere of mindere sterkte der trillingen van den ether, of van de moleculen van het ligchaam.

Deze twee theorieën hebben lang de natuurkundigen verdeeld; maar tegenwoordig, nu men de overeenkomsten tusschen de verschijnselen van de warmte en die van het licht waarneemt, wordt de theorie der golvingen, die bij dit laatste de overhand heeft, ook algemeen aangenomen bij de warmte. Maar daar de uiteenzetting der verschijnselen zich onder eenen meer bevattelijken vorm vertoont bij de theorie der uitstraling, en de overbrenging of ophooping van eene warmte gevende vloeistof gemakkelijker is om voorgesteld te worden, dan hare golvingen, drukt men zich in het algemeen uit in overeenstemming met de theorie der uitstraling. Wij zullen dus voortgaan met aan de oorzaak van de warmte, welke die zijn moge, den naam van *warmtestof* te geven, en wij zullen van een ligchaam, dat warmer of kouder wordt, zeggen, dat het warmtestof opneemt of verliest.

183. **Belang der warmteleer.** Door de menigte van toepassingen, die de warmte ons aanbiedt, door den weldadigen invloed, dien zij op alle wezens in de natuur uitoefent, ver-

dient geen der takken van de natuurkunde zoo onze aandacht tot zich te trekken als die, welke over de warmte handelt. Het is toch niet alleen de warmte die uit onze haarden uitstraalt en tot het bereiden van onze spijzen dient, die gedurende de lange winters van ons klimaat voor ons de plaats van zonnewarmte bekleedt; maar ook met behulp van diezelfde warmte haalt de mensch de metalen uit de mijnen, maakt ze zuiver en brengt ze in den vorm, waarin hij ze gebruiken kan. Zij is het die dient tot de bereiding van eene menigte voortbrengselen bij de kunsten gebruikt, zoo als het lichtgas, de kalk, het pleister, het gas, de potasch, enz., enz. Ook zij is het die overal eene zoo machtige beweegkracht schept, door het water in stoom te doen veranderen. In één woord, wij zouden niet ophouden, als wij hier alle groote toepassingen van warmte wilden aanwijzen; het zij genoeg er bij te voegen dat zij het heelal vervult, de geheele bewerktuigde natuur bezielt, dat zonder haar de planten en dieren niet zouden kunnen leven, de zeeën niet anders zouden zijn, dan eene groote ijsbank, en onze geheele aarde in eene volkomene verstijving zou gedompeld zijn.

Onder den naam van *vuur* heeft de warmte altijd de bewondering van het menschengeslacht opgewekt, en hebben bijna alle oorspronkelijke volken haar vergood. De Perzen en Peruanen begroeten de opklimmende zon, als het zuiverste symbool van het vuur. Het heilige vuur dat te Rome de priesteressen van Vesta onderhielden, dat, hetwelk onophoudelijk in den tempel te Delphi brandde, de vereering van Vulcanus, herinneren ons de vergoding van het vuur. Prometheus die, volgens de legende, de eerste was, die aan de menschen het gebruik van het vuur leerde, werd gezegd het uit den hemel gestolen te hebben, en de ouden beeldden zijne hem altijd verterende zucht om te weten af, in de allegorische voorstelling van een gier die zijn altijd aangroeijende lever afknaagde

184. **Algemeene opmerkingen over de warmte.** Wij hebben reeds gezien (zie 4), dat, door zich in de ligchamen op te hoopen, de warmte in het algemeen uitwerkt, dat tusschen hunne moleculen eene terugstootende kracht onstaat, tegenovergesteld aan de aantrekkingskracht der moleculen. Aan *deze kracht gehoorzamende* verwijderen zich de moleculen van

elkander, worden de poriën grooter, en daaruit ontstaat eene aangroeijing van volume, die men *uitzetting* noemt. Deze uitzetting wordt evenzeer in de vaste stoffen, in de vloeistoffen en in de gassen waargenomen, dus is de *uitzetbaarheid* der ligchamen door de warmte eene nieuwe algemeene eigenschap, die gevoegd moet worden bij die, welke wij reeds genoemd hebben (zie 7).

De werking der warmte op de vaste ligchamen bestaat niet alleen daarin dat zij hen uitzet: wat meer is, wanneer zij er in eene genoegzame hoeveelheid in opgehoopt is, verliezen deze ligchamen eerst hunne vastheid, zij worden kneedbaar; wanneer de hoeveelheid warmte nu nog vermeerdert, komt eindelijk de terugstootingskracht, die door de warmte veroorzaakt wordt, in evenwicht met de moleculaire aantrekkingskracht, en dan nemen de ligchamen den vloeibaren toestand aan. Was, hars, zwavel gaan op die wijze gemakkelijk van den vasten in den vloeibaren toestand over. De warmte veroorzaakt dus hier in de vaste ligchamen eene verandering van toestand. Onder denzelfden invloed vertoont zich een dergelijk verschijnsel bij de vloeistoffen; wanneer men ze verwarmt zetten zij zich eerst uit, maar wanneer zij meer verwamd worden, wordt de moleculare aantrekkingskracht overwonnen door de terugstootende kracht, en veranderen zich deze ligchamen dan in luchtvormige vloeistoffen, die men *dampen* noemt.

Als, in plaats van zich op te hoopen in de ligchamen, de warmte zich er van los maakt, als er in de plaats van verwarming, verkoeling plaats heeft, komen er omgekeerde verschijnselen voor: de moleculen naderen elkander, het volume der poriën vermindert, en dus ook dat der ligchamen; dit drukt men uit door te zeggen, dat de ligchamen *inkrimpen*. Door verkoeling komen de dampen, hunne veerkracht verliezende, weder in den vloeibaren toestand, en de vloeistoffen zelve komen langzamerhand tot den vasten toestand. Het water, bij voorbeeld, verandert dan in ijs, en het kwikzilver wordt hard als lood.

Willen wij nu het voorafgaande in korte woorden herhalen, dan zien wij dat er twee physische uitwerkselen veroorzaakt worden door de opeenhooping of het verlies van warmte: 1°. verandering van volume die bestaat in uitzetting of inkrimping, 2°. *veranderingen van toestand*, d. i. veranderingen van

vaste stoffen in vloeistoffen, van vloeistoffen in dampen, of omgekeerd. Wij zullen ons eerst met de uitzetting der vaste stoffen, der vloeistoffen en der gassen bezig houden, daarna zullen wij over de veranderingen van toestand handelen.

185. **Proeven, die de uitzetting bewijzen.** Alle ligchamen zijn uitzetbaar door de warmte, maar zeer verschillend. De gassen zijn het meest uitzetbaar, daarna de vloeistoffen, eindelijk de vaste stoffen, die het altijd veel minder zijn.

Bij de gassen en de vloeistoffen is er niets anders te beschouwen dan de toeneming in volume; maar bij de vaste stoffen onderscheidt men twee soorten van uitzettingen, de eene in de lengte, d. i. de *linéaire uitzetting*, de andere in volume, d. i. de *cubieke uitzetting*. Om de linéaire uitzetting, die altijd zeer zwak is, te kunnen waarnemen, neemt men de in fig. 153 afgebeelde proef. Eene ijzeren of koperen staaf A gaat door twee metalen stutten. In B is zij stevig door een klemschroef vastgemaakt, maar aan haar ander eind wordt zij door niets tegengehouden en kan vrij langer worden, terwijl zij in C op den kleinen arm van een hefboom werkt waarvan de groote arm D als een wijzer op eene wijzerplaat

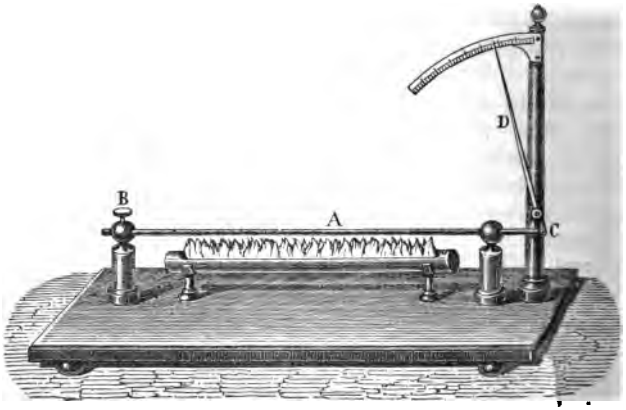


Fig. 153. Linéaire uitzetting of Pyrometer van Musschenbroek.

draait. Eindelijk, ‘ is een bakje van koper, waarin men alkoh nu de staaf op die wijze

zeer sterk verwarmd wordt, ziet men den grooten hefboomsarm vele graden op de wijzerplaat verloopen; dit bewijst dat in C de kleine hefboomsarm zich een weinig verplaatst heeft, door de langer wordende staaf A voortgeduwd. Naarmate deze staaf van staal, rood of geel koper enz. is, merkt men op dat de groote hefboomsarm zich ongelijk verplaatst; dit doet zien dat de verschillende metalen zich niet evenzeer uitzetten bij eenen even hoogen warmtegraad. Men vindt zoo, dat het geel koper zich veel meer uitzet dan het ijzer en staal.

Om de kubieke uitzetting der vaste ligchamen te doen zien, neemt men de proef met den *ring van 's Gravesande.* Zoo noemt men naar zijn uitvinder, een hollansch natuurkundige, een kleinen metalen ring *m* (zie fig. 154), door welken bij de gewone temperatuur een rood koperen bal *a*, juist passend, kan heengaan. Verplaatst men den bewegelijken ring en brengt men onder den koperen bal een alkoholvlam, dan verwarmt zich de bal en zet zich uit. Neemt men de lamp weg en brengt men den ring weer op zijne plaats, dan kan de bal niet meer als te voren door den ring heengaan, maar blijft er op liggen. Slechts door hem koud te laten worden, brengt men hem weer tot zijn oorspronkelijk volume terug; dit ziet men, daar hij door den ring heenvalt.

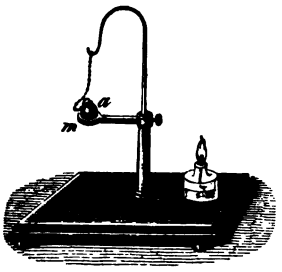


Fig. 154. Ring van 's Gravesande.

Wat de vloeistoffen en de gassen betreft, die veel meer uitzetbaar zijn dan de vaste stoffen, hunne uitzetting is gemakkelijk door proeven te bevestigen. Voor vloeistoffen neemt men een glazen bol, waaraan men eene glazen haarbuis soldeert, zooals men in figuur 155 ziet; nu vult men den bol en een gedeelte van de buis met een vocht, welk men wil, gewoonlijk met rood gekleurden alkohol of kwik. Als men nu den bol een weinig verwarmt, op de temperatuur van lauw water bijv., ziet men de kolom vloeistof duidelijk in de buis klimmen, bijv. van *a* tot in *b*, hetgeen eene veel grootere *uitzetting aawijst* dan bij de vaste stoffen.

Voor de gassen neemt men eene gelijksoortige proef, maar daar deze zich veel meer uitzetten dan vloeistoffen, wijzigt men het toestel van fig. 155 door aan den glazen bol eene veel grootere en daarom tweemaal omgebogen buis te soldeeren, zooals in fig. 156. Een wijzer van kwik *m* is eerst in de buis gebracht, door den bol die vol lucht is warm te maken, om een gedeelte daarvan door de uitzetting te verwijderen, en dan een druppeltje kwik in het kleine bakje *a* te gieten. Wanneer men nu den bol weder afkoelt, krimpt de lucht die in den bol en de buis is weder in, en de drukking van de atmospheer duwt het druppeltje terug tot bijv. in *m*. Als men het toestel zoo gereed heeft, en den bol eenige oogenblikken in de hand houdt, zet de lucht die hij bevat zich genoeg uit om den wijzer van *m* naar *n* vooruit te drukken. Dit wijst aan dat de gassen zich veel meer uitzetten dan de vloeistoffen.

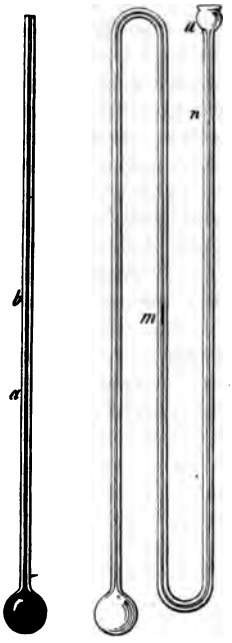


Fig. 155. Uitzetting der vloeistoffen. Fig. 156. Uitzetting der gassen.

Uit al wat vooraf gaat, ziet men dat de algemeene werking der warmte is alle ligchamen uit te zetten. Dit moet echter slechts toegepast worden op de stoffen die, gelijk de metalen en het glas, de vochtigheid der lucht niet in hare poriën opnemen. Bij ligchamen toch die water kunnen opnemen als hout, papier, klei, brengt de verwarming, door de vloeistof te doen verdampen, en door haar uit de poriën te verwijderen, eene min of meer aanmerkelijke inkrimping te weeg. Daarom rolt een vochtig stukje papier ineen aan den kant, waarmede het voor het vuur gehouden wordt. Daarom ook verwarmen de kuipers de duigen aan éénen kant, om ze te krommen, door vuur in de ton aan te steken als de

duigen nog alleen slechts bij elkander gebracht zijn. Het naar het vuur gekeerde gedeelte droogt, trekt zich daardoor samen en kromt zich naar den kant waar de warmte er op werkt.

OVER DE THERMOMETERS.

186. **Temperatuur, thermometer.** De *temperatuur* van een ligchaam is de warmtegraad daarvan; als het warmer wordt zegt men, dat de temperatuur hooger wordt, als het kouder wordt, dat de temperatuur lager wordt. Ieder instrument nu dat dienen kan om de temperaturen te meten is een *thermometer*. Deze is zoo genaamd naar twee grieksche woorden die *warmtemeter* beteekenen. De uitvinding der thermometers dagteekent van het eind der XVIde eeuw, en wordt door sommigen aan Galileï, door anderen aan Drebbel, nederlandsche geneesheer, toegeschreven.

Daar onze zintuigen te onvolmaakt zijn om met eenige zekerheid de verandering van temperatuur waar te nemen, heeft men, om ze te meten, tot de uitwerkselen der uitzetting zelve, welke bij de ligchamen door de warmte veroorzaakt wordt, de toevlucht moeten nemen. Daar de vaste stoffen nu zeer weinig uitzetbaar zijn, kunnen zij niet dan tot het meten van groote temperatuurs-verandering dienen; de gassen integendeel kunnen, daar zij het in hooge mate zijn, slechts voor het meten van zeer kleine toe- en afnemingen der warmte gebruikt worden. Men heeft dus voor het maken van thermometers de voorkeur aan de vloeistoffen gegeven.

De eenige in gebruik zijnde vloeistoffen zijn kwik en alkohol; voornamelijk het eerste, omdat de uitzetting daarvan veel *regelmatiger* is dan van den alkohol, d. i. omdat zijne toeneming in volume meer in gelijke verhouding is met de hoeveelheden warmte. Wij zullen ons eerst met den kwikthermometer bezig houden, vervolgens met den alkohol-thermometer.

187. **Samenstelling van den kwik-thermometer.** De kwikthermometer is die, welks gebruik het meest is verspreid en welks aanwijzingen de meest juiste zijn. Hij wordt samengesteld uit eene glazen haarbuis, gesoldeerd aan een bol van dezelfde stof, zooals fig. 158 het aantoont. De bol en het onderste gedeelte van de buis zijn gevuld met kwik. Daar

de middellijn van het binneste deel der buis zeer klein is, is het moeijelijk kwik in het instrument te brengen. Om dit te doen begint men met boven aan de buis een klein glazen bakje te solderen, zoo als in fig. 157 afgebeeld is. Nu giet men in het bakje eene zekere hoeveelheid kwik. Dit gaat er niet dadelijk door, daar het teruggehouden wordt door de kleinte van middellijn van de buis, en de veerkracht van de lucht waarmee de bol gevuld is. Maar als men dezen een weinig doet verwarmen op gloeijende kolen of boven de vlam van eene alkohollamp, zet de lucht, die er in is, zich uit, en gaat er gedeeltelijk in bellen, door het kwik, dat in het bakje is, uit. Wanneer men het dan eenige oogenblikken laat bekoelen, krimpt de lucht, die binnen in gebleven is, in; en daar nu hare veerkracht verminderd is, noodzaakt de drukking van de atmospheer, die op het kwik in het bakje drukt, dit om in den bol te gaan, waar het ook druppel voor druppel invalt. Daar er evenwel nog lucht in den bol is, wordt deze niet geheel en al gevuld; maar door op nieuw te verwarmen en te verkoelen, laat men eene nieuwe hoeveelheid kwik in den bol komen en zoo voort tot er slechts een zeer klein volume overblijft. Om die geheel te verwijderen, moet men den bol verhitten tot dat het kwik, dat hij bevat, begint te koken; de kwikdampen, die zich losmaken, nemen eindelijk al de lucht die overbleef mede, en nadat hij weder afgekoeld is, wordt de bol en de geheele buis geheel en al gevuld. Men neemt dan het bakje door de buis met den kant van eene driehoekige vijl

Fig. 157. Vulling van den therm.

Fig. 158. Niet gegradueerde therm.

eene kras te geven. Dan sluit men het einde van de buis, door haar dicht te smelten boven de soldeerlamp. Zoo noemt men eene olielamp, door welker vlam een sterke luchtstroom gaat, die haar zeer versterkt en verhit. Evenwel, vóór dat men den thermometer sluit, moet men zorg dragen hem zoo te verwarmen, dat er genoeg kwik uitkomt, opdat op eene gewone temperatuur de buis tot een vierde of derde gedeelte gevuld zij; zonder deze voorzorg zou het kwik, zich uitzettende, het instrument breken. De thermometer is dan zoo als hij in fig. 158 is voorgesteld: er blijft dan niets meer te doen over, dan de graadverdeeling er bij te voegen.

188. **Graadverdeeling van den thermometer.** Wanneer de thermometer zoo samengesteld is uit een glazen bol en eene zeer fijne haarbuis aan dezen bol gesoldeerd, ziet men altijd als de temperatuur klimt of daalt, en het kwik zich dus uitzet of inkrimpt, die vloeistof klimmen of dalen in de buis. Deze veranderingen van hoogte zijn het, die dienen tot het meten der temperatuur; maar daartoe is het noodzakelijk eene in graden verdeelde schaal langs de buis te stellen, die het middel geeft om met juistheid de uitzettingen en inkrimpingen van het kwik te meten. Voor de graadverdeeling van deze schaal heeft men twee vaste punten aangenomen, die overeenkomen met twee temperaturen, die onveranderlijk en gemakkelijk te verkrijgen zijn. Deze temperaturen zijn: de eene die van smeltend ijs, de andere die van kokend water. Deze keus is daarop gegrond dat de ondervinding geleerd heeft, dat de temperatuur waarop ijs smelt altijd dezelfde is, en dat het even zoo is met de temperatuur waarop het water kookt. Dit evenwel onder voorwaarde dat dit water gedestilleerd, d. i volkomen zuiver zij, dat het in een metalen, niet in een glazen vat koke, en eindelijk dat de atmospherische druk altijd gelijk zij aan de barometerhoogte van 76 duim. Wij zullen dan ook zien, wanneer wij over het koken spreken, dat, als een van deze voorwaarden niet vervuld is, het water ophoudt te koken op dezelfde temperatuur.

Om nu het eerste vaste punt te bepalen, dat overeenstemt met smeltend ijs, begint men met eene smalle strook papier langs de buis van den thermometer te bevestigen. Daarna dompelt men dezen in fijn gestampt ijs, zoo als in fig. 159 afgebeeld is, zorg dragende het water, dat van het gesmol-

ten ijs afkomt, weg te laten loopen. Nadat de thermometer eenigen tijd, ten minste 20 minuten, in het ijs geweest is, teekent men op de strook papier, bij het punt, dat met de

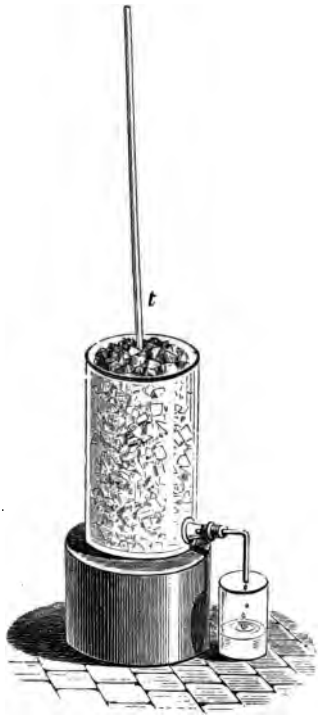


Fig. 159. Bepaling van het nulpunt van den thermometer.

Fig. 160. Bepaling van het kookpunt op den thermometer.

oppervlakte van het kwik overeenstemt, een klein potloodstreepje; dit is het eerste vaste puut.

Het tweede wordt bepaald door middel van het toestel, dat in fig. 160 wordt voorgesteld. Het is een vat van blik, op welks deksel een lange buis van dezelfde stof is vastgemaakt. In die buis is de thermometer bovenaan vastgehou-

den door een kurken stop, waar de buis doorheen gaat. Het blikken vat nu bevat water, dat men warm maakt tot het kookt; de dampen, die zich los maken, klimmen in de groote buis, omgeven den thermometer, en gaan door twee zijbuizen boven aan het toestel weg. Deze dampen zijn van dezelfde temperatuur als het water, waarvan zij zich los maken, en men bemerkt dat de thermometer die temperatuur heeft bereikt, wanneer het kwik ophoudt in de buis op te klimmen; men teekent dan bij het punt, waar hij stil staat, een ander streepje, dat het tweede vaste punt aanduidt.

Als men de twee vaste punten zoo heeft verkregen, schrijft men een nul bij het eerste, dat van smeltend ijs; dit beteekent, dat men hier begint te tellen; bij het tweede, dat van kokend water, schrijft men 100, en men verdeelt het tusschen inliggend deel van 0 tot 100 in honderd gelijke deelen, die men graden noemt. Men gaat voort met te verdeelen onder het 0 punt en boven het punt 100, zoover de lengte van de buis het veroorlooft, en dan is de schaal in graden verdeeld. Soms schrijft men de schaal op het glas van de buis zelve, met een vocht, dat in de chemie bekend staat onder den naam van *acidum hydro-fluoricum;* dit heeft de eigenschap het glas aan te tasten. De schaal, zoo op glas geschreven, is moeijelijker te lezen, maar heeft het voordeel zich niet te kunnen verplaatsen en eene zeer standvastige lengte te hebben, daar het glas zeer weinig uitzetbaar is. Men schrijft ook de schalen der thermometers op metalen, ivoren of houten plaatjes, die men langs de buis bevestigt. Fig. 161 stelt een kwikthermometer voor met ivoren schaal; deze strekt zich uit van 20 graden onder nul tot 110 graden er boven.

De thermometergraden worden gelijk die van den cirkel uitgedrukt door een klein nulletje rechts, boven aan het getal, dat de temperatuur aanduidt. Bijv. 25 graden schrijft men 25°. Wat betreft de graden boven of onder het nulpunt, die onderscheidt men door de eersten te laten voorafgaan door het teeken *plus* (+), en de laatsten door het teeken *minus* (—). Men zal dus de temperatuur van 20 graden boven het nulpunt aanduiden door + 20° en die van 20 *graden onder het nulpunt* door — 20°.

189. **Verschillende thermometerschalen.** Bij den thermometer, dien wij bschreven hebben, is de tusschenruimte tusschen de twee vaste punten verdeeld in 100 deelen of graden, en hiernaar heeft die schaal den naam van *honderddeelige schaal* gekregen. Deze schaal wordt ook genoemd *schaal van Celsius*, naar Celsius, professor te Upsala, overleden in 1744, die het eerst deze verdeeling van de thermometerschaal heeft voorgeslagen. Meer en meer komt zij in gebruik en alleen van deze zal in dit boek melding gemaakt worden. Er bestaan echter nog twee andere, *de schaal van Réaumur* en die van *Fahrenheit*. Bij de eerste, in 1731 door Réaumur, fransch natuurkundige, aangenomen, kiest men ook voor vaste punten de temperatuur van smeltend ijs en van kokend water, en men teekent ook nul voor het eerste punt, maar voor het tweede teekent men, in plaats van 100, 80 aan. Nu verdeelt men de tusschenruimte van 0 tot 80 in 80 gelijke deelen, die de graden van den thermometer van Réaumur zijn.

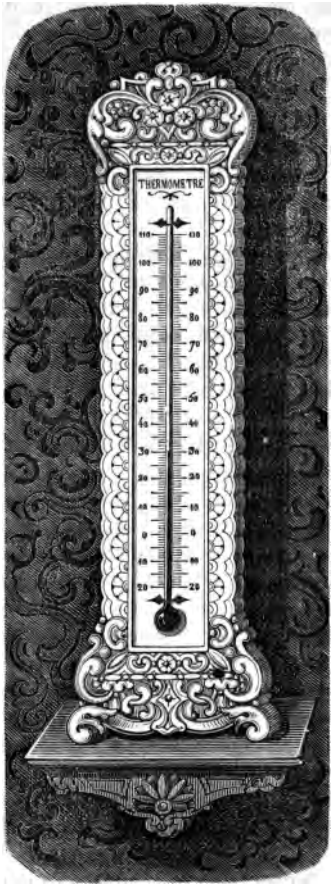


Fig. 161. Kwik-thermometer met honderddeelige schaal.

Fahrenheit, dezelfde die den aréometer gevonden heeft (zie 102), stelde voor het eerst in 1714 de schaal samen, die zijn naam draagt en die veel in N.-Amerika, Engeland,

Rusland en ook in ons land gebruikt wordt. Het hoogste punt van deze schaal komt overeen met de temperatuur van kokend water; maar in plaats van 100 teekent men dat 212. Wat betreft het onderste vaste punt, hiervoor wordt weder het smeltpunt van ijs genomen en daarbij 32° aangeteekend. Men verdeelt eindelijk de tusschenruimte tusschen de twee vaste punten in 212—32 of 180 gelijke deelen, en de schaal is in graden verdeeld.

190. Herleiding van de graden van Réaumur en Fahrenheit in centigraden. Om de graden van Réaumur in centigraden, of graden van de honderddeelige schaal, te herleiden, moeten wij opmerken, dat dezelfde tusschenruimte tusschen smeltend ijs en kokend water, die in 80 graden verdeeld is bij de eerste schaal, in 100 is verdeeld bij de tweede: dat bij gevolg 80 graden Réaumur gelijk zijn aan 100 centigraden en dus een enkele graad van Réaumur $^{100}/_{80}$ of $^{10}/_{8}$ of eenvoudiger nog $^{5}/_{4}$ graad van de honderddeelige schaal bedraagt. Wanneer men dus bijv. 32 graden van Réaumur moet herleiden in centigraden, zal men moeten zeggen: omdat 1 graad Réaumur gelijk is aan $^{5}/_{4}$ centigraden, zijn 32 graden van Réaumur gelijk 32 maal $^{5}/_{4}$. Men ziet dus, dat om graden van Réaumur in centigraden te herleiden, men niets heeft te doen dan ze met $^{5}/_{4}$ te vermenigvuldigen.

Om de graden van Fahrenheit in centigraden te herleiden, grondt men zich op die eigenschap van de schaal van Fahrenheit, dat haar 32ste graad juist overeenkomt met het nulpunt van de honderddeelige schaal; hieruit volgt, dat het gedeelte van de buis, dat bij deze laatste schaal 100 graden bevat: bij de schaal van Fahrenheit 212 min 32, d. i. 180 heeft. Wanneer men nu bijv. 95 graden Fahrenheit in centigraden wil herleiden, moet men, omdat die laatsten geteld zijn van het punt van smeltend ijs af, om de te herleiden graden van hetzelfde punt te kunnen rekenen, er 32 aftrekken, volgens hetgeen wij hierboven over de verhouding der plaats van de beide nulpunten gezegd hebben. Als men dus 32 van 95 aftrekt, blijft er 63 over. Daar men nu gezien heeft dat 180 graden van Fahrenheit gelijk staan met 100 centigraden, is een graad van Fahrenheit gelijk $^{100}/_{180}$ of eenvoudiger gelijk $^{5}/_{9}$ centigraden dus zijn 63 graden van Fahrenheit gelijk aan $^{5}/_{9}$, *vermenigvuldigd* met 63, en dit geeft tot produkt

35 centigraden. Waaruit men ziet dat om graden van Fahrenheit in centigraden te herleiden, men er 32 moet aftrekken, en de rest met $^5/_9$ vermenigvuldigen.

191. **Alkohol-thermometer.** De alkohol-thermometers zijn geheel gelijk aan de kwik-thermometers; het eenige onderscheid is dat de bol en de buis, in plaats van kwik, alkohol bevatten. Deze is rood gekleurd, bijv. met *orseille*, eene plantaardige zelfstandigheid, die de vloeistof duidelijker doet onderscheiden. Men verdeelt ze, door ze van graad tot graad met eenen kwik-thermometer te vergelijken, om de fout te voorkomen, die anders ontstaat uit de ongelijkmatige uitzetting van den alkohol.

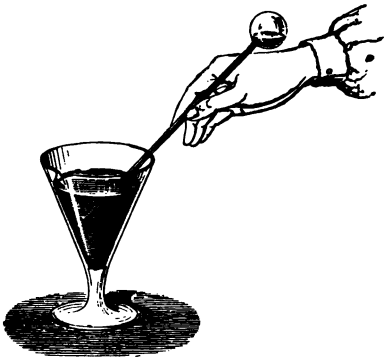


Fig. 162. Alkohol-thermometer.

Bij hunne vulling is het niet noodig een bakje aan het einde te soldeeren; het is genoeg het bolletje ligt te verwarmen, om eene zekere hoeveelheid lucht uit te drijven, en vervolgens de buis om te keeren en het geopende einde in alkohol te houden (zie fig. 162). De lucht, die er in is, krimpt in, zoodra de bol koud wordt, en de drukking van de atmospheer doet den alkohol in de buis en den bol rijzen. Deze wordt niet dadelijk vol, omdat er lucht in gebleven is, maar wanneer men den alkohol, die er in is gebracht, doet koken, geeft deze vloeistof, die zeer vluchtig is, overvloedige dampen, en deze nemen, terwijl zij zich los maken, alle lucht, die in den bol over is, mede. Wanneer men dan den bol omkeert en zijn uiteinde weder in alkohol dompelt, wordt het instrument geheel gevuld. Vervolgens geschiedt het aanbrengen van de schaal geheel als bij den kwik-thermometer.

192. **Keus tusschen den kwik- en den alkohol-thermometer.** [illegible] den kwik-thermometer moet men in het algemeen de voor[illegible] *geven, omdat* het kwik zich het regelmatigst van alle

loeistoffen uitzet. Dat wil zeggen, dat zijne toeneming in olume in betere verhouding staat tot de toeneming in warmte. Echter is er een geval waarin men genoodzaakt is een alohol-thermometer te gebruiken, d. i. om zeer lage tempeaturen te meten; want op 40 graden onder het nulpunt tolt het kwik tot eene vaste massa, vergelijkbaar met lood; lus kan de kwik-thermometer op deze en lagere temperatuur niet meer dienen. Maar dan kan men zijne toevlucht nemen ot den alkohol-thermometer, want deze vloeistof wordt niet ast door de grootst bekende koude, zelfs tot 80 graden onder het nulpunt.

Voor de hooge temperaturen is de kwik-thermometer verdieselijker, omdat deze vloeistof eerst op 350° kookt, terwijl le alkohol op 79° kookt. In het kort: de kwik-thermometer kan gebruikt worden van — 36° tot omstreeks 300°; wij zeggen slechts — 36°, omdat men opgemerkt heeft dat van — 36° tot — 40° het kwik ongelijkmatig inkrimpt en slechts tot omstreeks 300°, omdat dicht bij het kookpunt het kwik zich ongelijkmatig uitzet. Voor temperaturen boven de 300° kan de kwik-thermometer geen juiste aanwijzingen meer doen, en buitendien zou het glas spoedig smelten.

193. **Voorwaarden bij het waarnemen van den thermometer te vervullen.** Om juist te zijn, moeten de waarnemingen van den thermometer onder zekere voorwaarden gedaan worden. Om bijv. de temperatuur van een bad te nemen, dompelen sommige menschen er den thermometer een oogenblik in, halen hem er weer uit en nemen hem dan waar. Maar als men dit doet, wordt de thermometer kouder en hij wijst dan eene lagere temperatuur aan dan die van het bad. Terwijl hij in het water is moet men hem waarnemen, en dan moet men hem er ook vrij lang in laten, opdat hij er de juiste temperatuur van aanneme.

De goede temperatuur van een bad is 32 à 33°; in graden van Réaumur 26°. In de badinrichtingen nu gebruikt men meestal nog Réaumur-thermometers. Daarvan komt het, dat wanneer men om een bad van 33° vraagt, men er gewoonlijk een op die temperatuur, maar in graden van Réaumur krijgt; en daar 33° van Réaumur gelijk staan met ongeveer 41 centigraden, volgt er uit dat het bad veel te warm is. Overigens schrijven geneesheeren niet zelden een bad op eene bepaalde

temperatuur voor; het is dan noodig er bij te zeggen of deze met graden van Réaumur of met centigraden is gemeten, zoo als wij gezien hebben. Als men de temperatuur van een vertrek wil bepalen, is men doorgaans voldaan, wanneer de thermometer aan een der muren ophangt. Maar zoodoende kan men eene fout krijgen, die verscheidene graden bedraagt. Indien de muur met de buitenlucht in betrekking staat, en vooral als hij naar het noorden gekeerd is, zal hij over het algemeen veel kouder zijn dan de lucht in het vertrek, en eene te lage temperatuur aanwijzen. Ook kan het gebeuren dat deze muur verwarmd is door schoorsteenbuizen; en dat daardoor de thermometer eene te hooge temperatuur aanwijst. Daarom is het eenige middel, om den warmtegraad van de lucht in een vertrek wezenlijk te verkrijgen, den thermometer aan een draad in het midden van het vertrek op te hangen, verwijderd van ieder ligchaam, dat hem verwarmen of verkoelen kan. Zoo is het ook wanneer men de temperatuur van de atmospheer wil weten. Men moet den thermometer in de open lucht ophangen, in de schaduw, en niet geplaatst op eenig voorwerp of gehangen tegen een muur.

194. **Differentiaal-thermometers.** Men noemt differentiaal-thermometers die, welke bestemd zijn, niet om de temperatuur der plaats, waar zij zich bevinden, te doen kennen, maar het verschil tusschen de temperatuur van twee nabij elkander gelegene plaatsen. Men onderscheidt er twee: den eenen, welken men *thermoscoop* noemt, heeft Rumford, amerikaansch natuurkundige, in Frankrijk in 1814 gestorven, uitgevonden; de andere, bijzonder onder den naam van *differentiaal-thermometer* bekend, is door Leslie, schotsch natuurkundige, in 1832 gestorven, uitgevonden.

Fig. 163 stelt den thermoscoop van Rumford voor; hij is samengesteld uit twee met lucht gevulde glazen bollen, die met elkander vereenigd zijn door eene 2 maal omgebogene buis. In het horizontale gedeelte van die buis is eene korte vochtkolom *n*, die als wijzer dient en die men er inbrengt, alvorens men het toestel sluit. Deze wijzer is zeer beweeglijk, en van het oogenblik af aan, dat een der bollen warmer wordt dan de andere, zet de lucht er van zich uit en schuift den wijzer naar den minder warmen bol. Deze thermometer is zelfs *zoo gevoelig dat* het genoeg is met de hand één der bol-

len te naderen, zoo als de hieronder staande fig. aanwijst, om den wijzer dadelijk van plaats te zien veranderen. Om het onderscheid van temperatuur tusschen de twee bollen te weten, plaatst men langs het horizontale gedeelte van de buis eene dubbele schaal, welker graadverdeeling men op de volgende wijze verkrijgt. Daar waar de buis is omgebogen, is een klein aanhangsel gesmolten, waarin men naar willekeur den wijzer laat komen, zoodat men vervolgens eene bepaalde hoeveelheid lucht van den bol A in den bol B kan laten

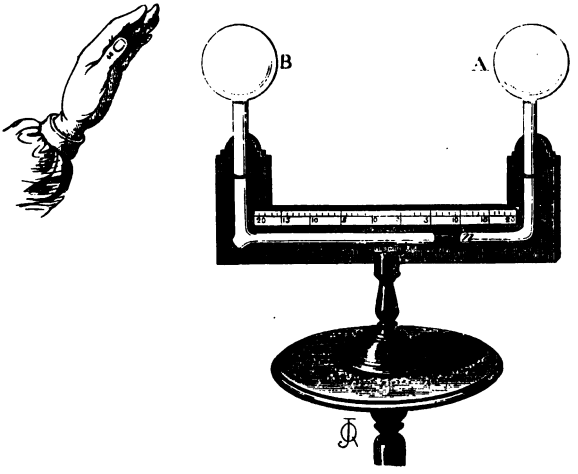


Fig. 163. Thermoscoop van Rumford.

overgaan en omgekeerd. Nadat men den eenen bol eenige keeren met de hand betast en den wijzer weer in het horizontale gedeelte van de buis gebracht heeft, krijgt men het gedaan, dat de wijzer op het midden van deze buis blijft staan, als de beide bollen dezelfde temperatuur hebben. Men teekent dan nul aan op de schaal, aan beide kanten van den index; vervolgens brengt men één der bollen, den bol B bijv. op eene, wat de hoeveelheid betreft bekende, hoogere temperatuur dan die van den anderen bol, bijv. 10 centigraden. De wijzer verandert van plaats, en men teekent 10 aan, *bij zijn voorste* gedeelte, zooals in de figuur te

zien is. Men verdeelt nu de tusschenruimte tusschen 0 en 10 in gelijke deelen, dit doet men verder tot het eind van de schaal, waarvan de eene helft alzoo in graden verdeeld is. Op dezelfde wijze gaat men te werk om de andere helft in graden te verdeelen.

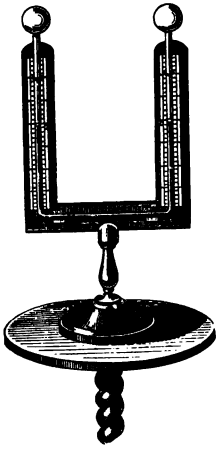


Fig. 164. Differentiaal-therm. van Leslie.

Figuur 164 stelt den differentiaal-thermometer van Leslie voor. Hij is dezelfde als de vorige, alleen zijn zijne bollen kleiner, en de schalen bevestigd langs de verticale gedeelten van de buis. De twee nulpunten zijn op het midden van de buizen, zoodat er hier inderdaad vier schalen zijn, waarvan ééne boven en ééne onder ieder nulpunt. De wijzer strekt zich van het eene nulpunt tot het andere uit, en vult dus de geheele horizontale buis en de helft der verticale buizen. Men verdeelt de schaal geheel op dezelfde wijze als die van den thermoscoop van Rumford; men maakt er ook hetzelfde gebruik van. Wij zullen spoedig de toepassingen van den differentiaal-thermometer zien, als wij over de uitstralende warmte handelen.

195. **Pyrometers.** Men noemt *pyrometers* (van twee grieksche woorden die *vuurmaat* beteekenen) instrumenten, bestemd om zeer hooge temperaturen te meten. Wij hebben gezien (zie 192) dat de kwikthermometer tot dit doel niet kan gebruikt worden, omdat zijne aanwijzingen niet veel boven 300 graden kunnen gaan. Men heeft dus de onvolledigheid van dit instrument willen aanvullen, door veel soorten van pyrometers uit te vinden, waarvan die van Wedgewood en van Brogniart de meest bekende zijn. De eerste gegrond op de *inkrimping* d. i. op het samentrekken in volume, dat de klei doet, als men haar in eene verhoogde temperatuur brengt; de tweede op de uitzetting der metalen. Maar deze instrumenten die slechts zeer onjuiste uitkomsten geven, vooral worden niet in de nijverheid gebruikt, en ver-

dienen dus geene beschrijving. Wij moeten alleen zeggen, dat men tot nog toe geheel en al goede instrumenten, om hooge temperaturen te meten, mist.

HOOFDSTUK II.

UITSTRALING DER WARMTE.

196. **Voortplanting der warmte op eenen afstand.** De warmte die wij vóór een haard voelen, en die welke ons de zon toezendt, toonen ons dat de warmte zich kan voortplanten op eenen afstand, van het eene ligchaam naar een ander, door de ruimte, evenzoo als de lichtgevende ligchamen in de verte in alle richtingen lichtstralen uitzenden. De warmte, die zich zoo op een afstand voortplant, noemt men *stralende warmte*, en men noemt *warmtestraal* de lijn langs welke de warmte voortgeplant wordt. Het zijn niet alleen de ligchamen in den gloeijenden toestand, als gloeijende kolen, de vlam eener lamp, de zon, die stralende warmte van zich geven; deze eigenschap is aan alle ligchamen zonder uitzondering gemeen, en dat wel, welke hunne temperatuur ook zij. Eene flesch met warm en en eene flesch met koud water, bij voorbeeld, stralen beide warmte uit; alleen straalt de eerste zooveel meer uit als hare temperatuur hooger is, dan die van de tweede.

197. **Wetten van het uitstralen der warmte.** Het uitstralen der warmte is altijd aan deze drie wetten onderworpen:

1°. *Het uitstralen geschiedt gelijkelijk in alle richtingen om de ligchamen.* De waarheid hiervan is gemakkelijk waar te nemen, door een thermometer in verschillende stellingen bij een warm ligchaam te plaatsen; in alle stellingen op gelijken afstand teekent hij dezelfde temperatuur-hoogte.

2°. *De warmte plant zich voort in eene rechte lijn.* Wanneer men tusschen een warm ligchaam en den thermometer een scherm plaatst, dat de stralen tegenhoudt, houdt de thermometer dadelijk op den invloed te ondervinden van de warmte, die het ligchaam uitstraalt. Er bestaat echter een geval, waarin de warmte ophoudt zich in eene rechte lijn te verplaatsen, t. w. wanneer zij van *middenstof* verandert, d. i. als zij

van de eene stof in eene andere overgaat, bij voorbeeld van de lucht in glas. Wij zullen over dit verschijnsel onder den naam van *refractie* spreken bij de behandeling van het licht.

3°. *De warmte plant zich voort in het luchtledig.* Om dit door de proef te bewijzen bevestigt men een kleinen thermometer in het midden van een glazen bol en maakt deze luchtledig. Dompelt men nu dezen bol in warm water, dan ziet men dadelijk den thermometer rijzen. Dit bewijst dat de warmte, na door het glas te zijn getrokken, zich voortplant door het ijdel naar den thermometer.

198. **Oorzaken, die de sterkte der uitstralende warmte doen veranderen.** De sterkte der warmte, die ons door de warme ligchamen wordt toegezonden, verandert met de temperatuur van die ligchamen en met den afstand, die hen van ons scheidt, volgens de twee volgende wetten:

1°. *De sterkte der uitstralende warmte neemt toe met de temperatuur van de bron waaruit zij voortkomt.* Indien de warmtebron geplaatst is in eene omgeving van standvastige temperatuur, is de hoeveelheid warmte, die zij meer uitstraalt dan ontvangt, evenredig aan het verschil tusschen hare temperatuur en die der omgeving. Deze wet, door Newton gegeven, houdt echter op volkomen juist te zijn, wanneer het temperatuur-verschil zeer groot is.

2°. *De sterkte van de warmte staat in omgekeerde reden van het vierkant van den afstand.* Dat wil zeggen dat wij, op een el afstand van een haard geplaatst, er eene bepaalde warmte van ontvangen; maar dat wanneer wij er twee ellen van verwijderd zijn, wij viermaal minder ontvangen; op drie ellen afstand negenmaal minder, en zoo voort. Deze verhouding tusschen de warmte en den afstand is gemakkelijk door een proef met den differentiaal-thermometer te bevestigen.

Echter zijn alleen in het luchtledig de hierboven genoemde wetten streng; in de lucht kunnen zij niet dan benaderend gevonden worden, omdat de moleculen van die vloeistof altijd een zeker deel van de uitstralende warmte tegenhouden en hare sterkte zoo doende verzwakken. Dit verlies van warmte zou nog meer merkbaar zijn in minder doorschijnende middenstoffen dan de lucht, zooals in water, glas, alkohol.

199. **Onderlinge wisseling van warmte tusschen alle ligchamen.** Door de uitstraling, die standvastig in alle richtingen om de ligchamen plaats heeft, is er tusschen hen eene voortdurende wisseling van warmte. Als de ligchamen die bij elkander zijn allen dezelfde temperatuur hebben, zendt ieder aan de rondom liggende ligchamen eene hoeveelheid warmte, gelijk aan die, welke het ontvangt, en hunne temperatuur blijft dezelfde. Maar als zij van ongelijke temperatuur zijn, daalt de temperatuur der warmste, daar die meer warmte uitstralen dan zij ontvangen; terwijl de temperatuur der minder warme verhoogd wordt, daar zij meer ontvangen, dan uitstralen; zoodat er een oogenblik komt, waarop de temperatuur eindigt met dezelfde te zijn voor al deze ligchamen. Op dat oogenblik nu houdt de uitstraling niet op; zij gaat voort, maar zonder verlies of winst voor ieder ligchaam. Dezen toestand drukt men eigenaardig uit door den naam van *beweegbaar evenwicht van temperatuur.*

Na hetgeen voorafgaat begrijpt men, dat de ligchamen in onze vertrekken geplaatst allen de neiging hebben om dezelfde temperatuur aan te nemen; maar in 't algemeen is het niet geheel zoo, daar vele oorzaken medewerken om sommige te verwarmen, andere te verkoelen. Bij voorbeeld, de ligchamen dicht bij een muur geplaatst, die afgekoeld wordt door de buitenlucht, vinden daar eene oorzaak van afkoeling. Integendeel zij die in het bovenste gedeelte van een verwarmd vertrek geplaatst zijn, hebben alleen daardoor de strekking om eene hoogere temperatuur aan te nemen, omdat, daar de warme lucht altijd de neiging heeft te rijzen, omdat zij minder dicht is, de luchtlagen, die het naast bij de zoldering liggen, altijd warmer zijn dan de benedenste lagen.

Wegens de aanhoudende wisseling van warmte, die tusschen de ligchamen plaats heeft, is er noodzakelijk een perk aan hunne verkoeling, omdat zij altijd aan den eenen kant terug trachten te nemen, hetgeen zij aan den anderen kant verliezen. Opdat een ligchaam zich oneindig zou kunnen verkoelen, moest het in de ruimte alleen zijn, geene warmte van een ander ligchaam ontvangende. Alzoo dan zijne warmte verliezende zonder te ontvangen, kan men niet zeggen, hoe ver zijne verlaging in temperatuur zou gaan. Zou het zoover *komen dat het geene* hoeveelheid warmte meer bevatte?

Men weet het niet; maar wat men bepaald zeggen kan is, dat het tot een graad van koude zoude dalen, veel grooter dan die, welke men op de oppervlakte van de aarde ooit heeft kunnen waarnemen.

HOOFDSTUK III.

TERUGKAATSING DER WARMTE.

200. **Wet van de terugkaatsing der warmte.** Als de warmtestralen, die door eene bron van warmte uitgestraald worden, op de oppervlakte eens ligchaams vallen, verdeelen zij zich in het algemeen in twee deelen; de eene helft dringt door in het ligchaam en verhoogt er de temperatuur van; de andere springt op zijne oppervlakte weder op als een elastieke bal, die tegen een hard ligchaam slaat; dit drukt men uit door te zeggen dat deze stralen *teruggekaatst* worden. Neem bij voorbeeld eene warmtebron, zelfs niet zeer sterk, als b. v. een blikken cubus met kokend water (fig. 165), en een scherm,

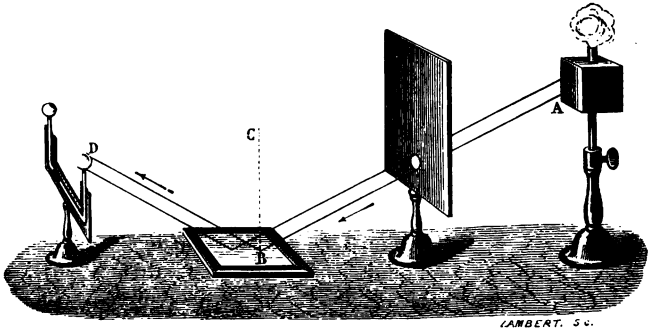


Fig. 165. Terugkaatsing van de warmte.

waar de warmte niet doorgaat, maar dat aan zijn ondereind een gat heeft eenige duimen wijd. Als men achter dit scherm een gepolijst ligchaam B plaatst, waarop de warmtestralen van den cubus vallen, en verder een differentiaal-thermometer, ziet men dezen eene verhooging van temperatuur aanwijzen

van vele graden, van het oogenblik af aan, dat één zijner bollen zoo geplaatst is, dat hij de door het gepolijste ligchaam teruggekaatste stralen ontvangt. Bij deze proef worden de stralen, in de richting van A B op het gepolijste ligchaam vallende, *invallende* stralen genoemd; en men noemt *hoek van inval* niet den hoek dien deze stralen maken met de terugkaatsende oppervlakte, maar den hoek A B C, welken zij met een rechte lijn B C maken, die loodrecht op de oppervlakte staat. Evenzoo noemt men den hoek C D B, dien de teruggekaatste stralen met dezelfde loodlijn maken, den *hoek van uitval.* De weerkaatsing der warmte werkt altijd volgens deze wet, dat *de hoek van uitval gelijk is aan den hoek van inval.* Wij zullen later zien dat de weerkaatsing van het licht aan dezelfde wet onderworpen is.

201. **Uitwerkselen van de terugkaatsing van de warmte op holle spiegels.** De weerkaatsing van de warmte heeft belangrijke gevolgen wanneer zij geschiedt op *holle spiegels.* Zoo noemt men bolvormige oppervlakten van glas of metaal, hol gelijk een horlogie-glas. Om op deze oppervlakten de wet hier boven voor vlakke oppervlakten gegeven (zie 200), toe te passen, beschouwt men de holle spiegels als gevormd door een oneindig groot aantal uiterst kleine platte oppervlakten, met betrekking tot elkander zoo geplaatst, dat zij de kromming van den spiegel vormen. Uit de symmetrische helling van deze kleine ruitjes volgt het dat, als een geheel van warmtestralen op een hollen spiegel valt, al deze stralen door de weerkaatsing in één punt samentreffen, dat men den naam van *brandpunt* geeft, om de groote warmte uit te drukken, die zich daar verzamelt. Wanneer wij over het licht handelen, zullen wij in het breede terugkomen op de eigenschappen der brandpunten bij de holle spiegels; voor het ongenblik zal het genoeg zijn de proeven te leeren kennen, die dienen om de groote sterkte te toonen die de weerkaatste warmte in deze punten verkrijgt. Figuur 166 beeldt eene proef af, die men gewoon is bij de lessen over physica te nemen. Twee metalen spiegels staan tegenover elkander, op een afstand van 3 of 4 ellen. In het brandpunt van den eenen is een ijzeren kogel *n* rood gloeijend gemaakt; in het brandpunt van den anderen is een ontvlambaar ligchaam *m, bijv. een stuk* zwam. De warmtestralen nu, door

den kogel uitgestraald in de richting van den spiegel A, worden daar weerkaatst teruggezonden naar den spiegel B, zooals de twee geteekende pijltjes het aanwijzen. Bij den

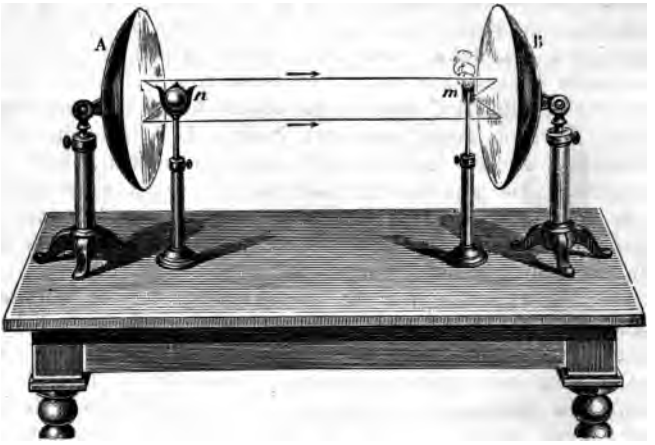


Fig. 166. Proef der twee brandspiegels.

tweeden spiegel gekomen, weerkaatsen de stralen op nieuw en worden samen gebracht op het ligchaam *m* dat zij aansteken.

Met zonnestralen kan men hetzelfde uitwerksel te weeg brengen Daartoe vangt men een bundel van die stralen op in een hollen spiegel, zoo als fig. 167 afbeeldt. Door in het brandpunt gedurende eenige oogenblikken een ontvlambaar ligchaam te houden, als papier, droog hout, een kurk, en zorg dragende ze in eene nijptang vast te houden, om zich de vingers niet te branden, ziet men dit ligchaam vuur vatten. Het voortgebrachte verschijnsel hangt hier af van de grootte van den spiegel. Met eenen spiegel van 1,74 meter *opening*, d. i. van den eenen kant naar den anderen, heeft men koper en zilver in eenige minuten gesmolten; de lei is in een zwart glas veranderd, dat men als een draad uit kon trekken; vuursteenen en keijen zijn zacht geworden en gesmolten.

Het gemak waarmede men de ligchamen in brand kan

steken met behulp van holle spiegels, is de oorzaak dat men ze *brandspiegels* heeft genoemd. Men verhaalt dat Archimedes door middel hiervan de schepen der Romeinen voor de stad Syracuse in brand stak Later is het feit door sommige schrijvers in twijfel getrokken; maar Buffon heeft doen zien dat het mogelijk was. Deze beroemde natuurkundige slaagde

Fig. 167. Brandspiegel.

er in, om bij eene sterke zomersche zonnehitte eene geteerde plank in brand te steken op 68 ellen afstand, door zich van eenen ontzaglijken hollen reflector te bedienen, samengesteld uit 128 glazen spiegels, allen van eene oppervlakte van $3^1/_2$ □ palm; zij waren met scharnieren op een zelfde raam verbonden, om zoo de helling te ontvangen, geschikt tot het weerkaatsen van al de warmte naar een zelfde punt.

202. **Terugkaatsend vermogen van verschillende stoffen.** Wij hebben reeds doen opmerken (zie 200) dat de warmte, die op een ligchaam *valt*, zich altijd in twee deelen verdeelt,

het eene weerkaatst op de oppervlakte, het andere geabsorbeerd, d. i. doorgedrongen in het ligchaam en zijne temperatuur verhoogende. De hoeveelheden warmte, zoo geabsorbeerd of weerkaatst, zijn zeer verschillend bij de eene stof in vergelijking met eene andere. Sommige weerkaatsen veel en absorbeeren weinig; dit drukt men uit door te zeggen dat zij een groot *terugkaatsend vermogen* hebben; andere integendeel weerkaatsen de warmte weinig maar absorbeeren veel, d. i. zij hebben een groot *absorbeerend vermogen*. Het is duidelijk dat deze twee eigenschappen in omgekeerde verhouding tot elkander staan; want ieder ligchaam, dat veel warmte absorbeert, kan slechts zeer weinig terugkaatsen en omgekeerd.

Om het weerkaatsend vermogen van verschillende stoffen onderling te vergelijken, nam Leslie voor warmtebron een blikken cubus met kokend water gevuld, dien hij voor eenen hollen reflector plaatste (fig. 168). De stralen door deze

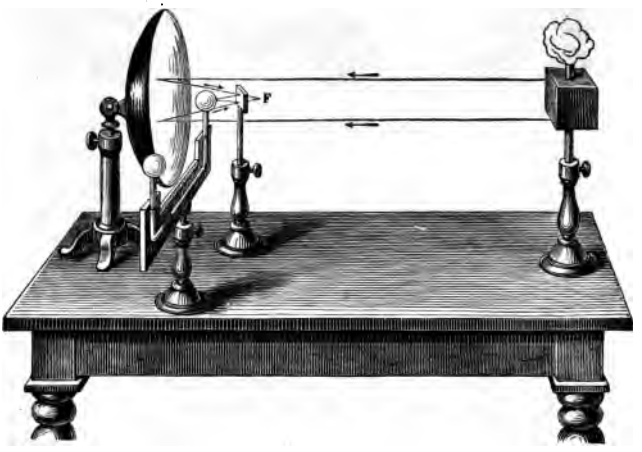


Fig. 168. Terugkaatsend vermogen.

warmtebron uitgezonden in de richting van den reflector, trachtten samen te komen in het brandpunt F. Maar hiervoor werden achtereenvolgens kleine vierkante plaatjes papier, glas, metaal, in één woord van de verschillende stoffen welker *weerkaatsend* vermogen men zocht, geplaatst. De stralen nu,

eens op den hollen spiegel weerkaatst, weerkaatsten nog eens, maar omgekeerd, op de plaatjes en kwamen daarop op den bol van een differentiaal-thermometer, zooals de teekening in fig. 168 dat doet zien.

Bij deze proef blijft de warmtebron dezelfde, evenals haar afstand van den reflector, en de thermometer wijst zeer verschillende graden aan, naarmate van de stof, waaruit de plaatjes vervaardigd zijn. Wanneer ze van gepolijst geel koper zijn, geeft de thermometer de hoogste temperatuur aan: dit bewijst dat dit metaal het grootste weerkaatsend vermogen heeft.

Dat van het zilver is slechts $^{9}/_{10}$ van dat van het geel koper; dat van tin $^{8}/_{10}$; dat van glas $^{1}/_{10}$. Eindelijk het rookzwart heeft geen weerkaatsend vermogen; dit ziet men wanneer men de plaatjes met rookzwart bedekt, als de differentiaal-thermometer er voor geplaatst is; deze geeft geene temperatuurverhooging aan: dit bewijst dat hij geene warmte ontvangt.

203. **Absorbeerend vermogen.** Om het absorbeerend vermogen van verschillende stoffen te vergelijken, heeft Leslie zijne

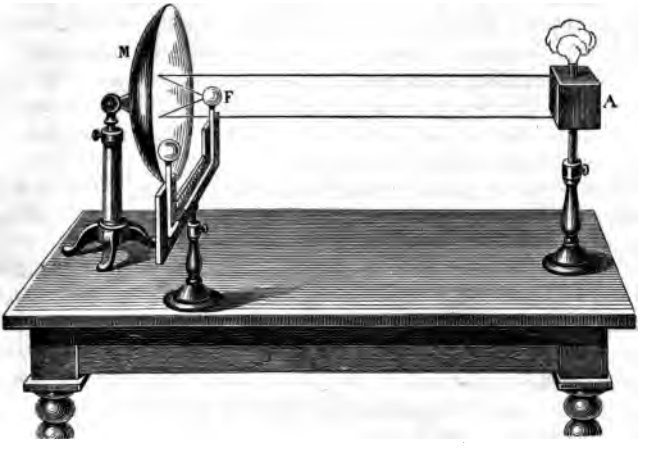


Fig. 169. Absorbeerend vermogen.

proeven genomen als in fig. 169. De warmtebron en de reflector zijn dezelfde als bij de vorige proef, en de bol van den *differentiaal-thermometer* is in het brandpunt zelf ge-

plaatst, waar hij dadelijk alle warmte, die door den spiege weerkaatst wordt, opneemt; maar hier, in plaats van den bol die in het brandpunt is, altijd gelijk aan zich zelf te later blijven, wijzigt men zijne oppervlakte en bij gevolg zijn absor beerend vermogen, door hem achter elkander met papier, dur bladtin, goud, zilver, koper enz. te bedekken; eindelijk laa men er ook eene ligte laag rookzwart op komen, totdat mer achter elkander proeven genomen heeft over alle stoffen waarvan men het absorbeerend vermogen wil leeren kennen Wanneer de bol nu met rookzwart bedekt is, merkt men op da de thermometer de hoogste temperatuur aanwijst; waaruit mer het gevolg trekt dat deze stof het grootste absorbeerend vermo gen heeft. Integendeel, als de bol bedekt is met een blaadj metaal, en vooral met geel-koper, wijst de thermometer der geringsten aanwas in temperatuur aan: dit bewijst dat he deze metalen zijn, en bijzonder geel-koper, die zich het mins door de warmte laten doordringen. In één woord, men kom tot dit resultaat, dat gemakkelijk te voorzien was: dat d ligchamen, die het best de warmte terugkaatsen, haar he minst absorbeeren, en omgekeerd, dat zij die haar het mins goed terugkaatsen, haar het gemakkelijkst absorbeeren.

204. **Uitstralingsvermogen.** *Het uitstralingsvermogen* is de eigen schap der ligchamen, van min of meer gemakkelijk de warmte die zij bevatten, uit te stralen; het is dus het omgekeerd van het absorbeerend vermogen.

Weder door middel van het toestel in fig. 169 voorge steld, heeft Leslie het uitstralingsvermogen der ligchamer onderling vergeleken. Alleen in dit geval is het niet de bo in het brandpunt, welken men na elkander met verschillend stoffen bedekt, het zijn de buitenwanden van den blikker cubus, waarin het warme water is; bij voorbeeld: men laa den eenen wand zijn vertinsel behouden, de andere wordt zwar gemaakt met rookzwart, op den derden wordt een blaadj wit papier geplakt en eindelijk op den vierden is een plaatj glas bevestigd.

Wanneer men nu eerst den zwart gemaakten wand naa den reflector keert, teekent de thermometer eene groote ver hooging van temperatuur; dit bewijst dat de cubus dan vee warmte naar den reflector zendt. Als men verder den me *papier bedekten* wand er heen keert, ziet men den wijzer

van den thermometer meer naar den bol in het brandpunt terugkeeren; waar men uit afleidt, dat het papier minder warmte uitstraalt dan het rookzwart. Bij den wand, die met een glasplaatje bedekt is, teekent de thermometer eene nog geringere uitstraling, en bij het blikken plaatje is de uitstraling het geringst. Zoo werkende, heeft Leslie gevonden dat het rookzwart de grootste uitstralende kracht heeft; vervolgens papier, gewoon wit glas, voorts de metalen. Daar de orde waarin hier de ligchamen naar hun uitstralingsvermogen gerangschikt zijn, dezelfde is als die welke vroeger gevonden is (zie 202) voor het absorbeerend vermogen, trekt men het gevolg daaruit, dat de ligchamen die het meest warmte uitstralen ook die zijn, welke het meest de warmte absorbeeren. Voor het overige hebben de door twee fransche natuurkundigen, Dulong en Petit, genomen proeven bewezen, dat voor iedere stof het uitstralingsvermogen altijd juist gelijk is aan het absorbeerend vermogen.

205. **Oorzaken die het terugkaatsende, absorbeerende en uitstralende vermogen wijzigen.** De eigenschap van het min of meer gemakkelijk weerkaatsen, absorbeeren of uitstralen der warmte is niet alleen verschillend bij de eene stof en eene andere, maar ook kunnen vele oorzaken haar voor een zelfde ligchaam wijzigen. De voornaamste zijn het min of meer glad gepolijst zijn der oppervlakten, de toeneming in dichtheid, de schuinte der invallende stralen, de natuur van de warmtebron en eindelijk de kleur der ligchamen. Leslie was de eerste die vond dat een holle spiegel betrekkelijk meer warmte in zijn brandpunt samenbracht, naarmate hij met meer zorg gepolijst was; en daaruit had hij besloten dat het terugkaatsend vermogen toenam met het meer gepolijst zijn der oppervlakten, terwijl integendeel de andere vermogens verminderden. Maar sedert Leslie's proeven heeft men gevonden, dat het de vermeerdering in dichtheid is, die voornamelijk strekt om het terugkaatsend vermogen sterker te maken.

Bijv. de proef van fig. 166 slaagt veel beter en kan op dubbelen afstand genomen worden, als de spiegels, in plaats van op de draaibank bewerkt en gepolijst te zijn, koud op een aanbeeld met een hamer geklopt zijn. In dit geval zijn zij koud gesmeed en hunne moleculen nader bij elkander gekomen. Het metaal is dichter geworden, vooral op de oppervlakte, en

het kaatst de warmte meer terug. De stoffen die niet vatbaar zijn om koud gesmeed te worden, zooals marmer, ivoor, enz. kaatsen niet meer of minder terug, naarmate zij meer of minder gepolijst zijn.

Het terugkaatsend vermogen verschilt ook naar de schuinte van de invallende stralen. Hoe schuiner zij zijn, hoe beter zij terugkaatsen; integendeel hoe meer hunne richting nadert tot de loodrechte, in betrekking tot het vlak, dat hen opvangt, hoe minder zij teruggekaatst worden. Dit is een der redenen waarom de grond 's zomers warmer wordt dan 's winters; want in den zomer zijn de zonnestralen minder schuin, en worden bij gevolg minder teruggekaatst door den grond en beter geabsorbeerd. Wat het absorbeerende en uitstralende vermogen betreft, daar deze altijd in omgekeerde verhouding staan tot het terugkaatsend vermogen, zoo volgt uit hetgeen voorafgaat dat men, door een metaal koud te smeden, het in een toestand brengt, waarin het minder gemakkelijk de warmte absorbeert en uitstraalt; er volgt ook uit, dat de op een ligchaam vallende stralen, die het gemakkelijkst geabsorbeerd worden, die zijn, welke loodrecht op zijne oppervlakte vallen.

Het absorbeerend vermogen wisselt ook af naar den aard van de warmtebron. Bijv. bij eene zelfde hoeveelheid invallende warmte absorbeert het loodwit bijna tweemalen meer, indien zij uitgestraald wordt door een cubus met warm water van 100°, dan indien zij door eene lamp wordt uitgestraald. Het rookzwart daarentegen absorbeert altijd dezelfde hoeveelheid warmte, welke er de bron van zij.

De kleur der ligchamen kan ook invloed uitoefenen op hun vermogen om terug te kaatsen, te absorbeeren en uit te stralen. Over het algemeen absorbeeren het wit en de lichte tinten weinig en kaatsen veel terug; het omgekeerde heeft plaats met het zwart en de donkere kleuren.

206. **Verschillende toepassingen.** De eigenschap, die de verschillende stoffen bezitten van zich min of meer gemakkelijk te laten doordringen door de warmte en van haar in ongelijke hoeveelheid terug te kaatsen, is in vele gevallen in het huiselijk leven en in de nijverheid toegepast. Bijv. als men zomer- of winterkleederen moet hebben; in beide saizoenen zal men aan witte kleederen de voorkeur moeten geven.

In den winter toch houden zij het verlies van warmte van het menschelijk ligchaam meer tegen, daar hun uitstralend vermogen minder is dan dat van zwarte kleederen. In den zomer, daarentegen, houden zij door hun grooter terugkaatsend vermogen, de warmte tegen, die hen tracht te doordringen, en kaatsen die naar buiten terug. Zoodoende zijn zij veel frisscher dan zwarte kleederen. Het linnen is dus door zijne witte kleur een voorbehoedmiddel tegen het verloren gaan van de warmte des ligchaams.

Zonder twijfel heeft de natuur daarom aan de dieren, die de poolstreken bewonen, eene witte kleur van haar gegeven, vooral gedurende den winter. De negers die de equatoriale gewesten bewonen schijnen minder gunstig bedeeld; maar men moet opmerken, dat de olieachtige stof, die hunne huid van nature uitzweet, er het absorbeerend vermogen van vermindert en hen behoedt voor de te sterke werking van de zonnestralen. De Lappen en de Esquimaux, die midden tusschen eeuwigdurend ijs wonen, wrijven hunnne ligchamen met traan, om het verlies van de dierlijke warmte tegen te gaan. Hier verhindert het vet de uitstraling; bij de negers het absorbeeren.

De sneeuw heeft door hare schitterend witte kleur een groot terugkaatsend vermogen, en bij gevolg absorbeert en straalt zij weinig warmte uit. Daar zij zulk een gering uitstralingsvermogen heeft, bewaart zij den grond en de planten, die zij bedekt, voor koude: en door haar zwak absorbeerend vermogen smelt zij langzaam bij dooi weder; maar als een boomtak, een stuk metaal, een steen, zich midden onder eene massa sneeuw bevinden, versnellen zij er de smelting van, door de warmte, die zij uit den dampkring opnemen, en vervolgens weder rondom zich uitstralen. In de Alpen werpen de bergbewoners, om de smelting der sneeuw te versnellen, er aarde boven op, die werkt door haar absorbeerend vermogen.

Bij het metalen vaatwerk, waarin men de spijzen laat koken, is het voordeelig als de oppervlakte daarvan zwart en dof is, want dan is het absorbeerend vermogen grooter en wordt het spoediger warm. De glans, dien men gewoon is het te geven, gaat dus gepaard met opoffering van brandstof. Als men daarentegen eene vloeistof zoo lang mogelijk warm moet houden, zal men haar bij voorkeur moeten bergen in een glad gewreven en blinkend metalen vat, omdat het

koelen langzamer gaan zal, daar het uitstralingsvermogen geringer is. Dit merkt men dan ook op bij zilveren vaten en bij die van wit verglaasd porcelein. In gemeene aarden vaten, die niet verglaasd zijn, worden de vloeistoffen spoediger warm, maar verkoelen eveneens spoediger.

In onze huizen moesten de omkleedsels van kagchels en calorifères (groote ovens die de warmte door een geheel huis verspreiden) altijd zwart zijn, om eene meer vrije uitstraling aan de warmte te geven; integendeel moest het binnenste van onze schoorsteenen, namelijk dat gedeelte, waar binnen onze haarden en kagchels gewoonlijk geplaatst worden, met witte porceleinen tegels of met wit plateelwerk bekleed zijn, om het terugkaatsend vermogen van den haard naar het vertrek te vermeerderen.

HOOFDSTUK IV.

WARMTE-GELEIDEND VERMOGEN DER LIGCHAMEN.

207. **Het geleiden der warmte bij vaste ligchamen.** Bij alle verschijnselen, welke wij beschouwd hebben onder den naam van *uitstraling*, plant de warmte zich standvastig van het eene ligchaam in het andere voort door de ruimte; zij kan zich echter ook in de stof zelve der ligchamen door eene wezenlijke *innerlijke* uitstraling van de eene molecule naar de andere voortplanten. Deze innerlijke voortplanting in de stof der ligchamen is het, die wij uitdrukken, wanneer wij zeggen dat zij de *warmte geleiden*; en men noemt *goede geleiders* ligchamen, die de warmte gemakkelijk in hunne stof voortplanten, terwijl men die welke het moeijelijk doen, *slechte geleiders* noemt. Om aan te toonen dat niet alle vaste ligchamen even gemakkelijk de warmte geleiden, maakte Dr. J. Ingenhousz (beroemd genees- en natuurkundige, geboren te Breda in 1730, en in Engeland, waar hij een groot deel van zijn leven doorbracht, gestorven in 1799), gebruik van het kleine toestel voorgesteld in fig. 170. Het is een kleine blikken doos, waaraan door buisjes en kurken staafjes van verschillende stoffen, bijv. van ijzer, koper, marmer, hout, glas, zijn vastgemaakt; deze staaf[illegible] die in de doos eenige strepen ver uitsteken, zijn m[illegible] ewone gele was overtrokken,

at op 51 graden smelt. Nu vult men de doos met water an 100 graden, en merkt op dat op de metalen staafjes de vas spoedig smelt tot op zekeren afstand van de buizen, erwijl men op de andere staafjes geen spoor van smelting espeurt; dit toont aan dat de warmte van de doos zich emakkelijker voortplant in de metalen staafjes, dan in de ndere. Niet alleen deze proef, maar ook andere meer nauweurige doen zien, dat onder de ligchamen de metalen de este geleiders zijn Daarop volgt het marmer, het porcelein le gebakken steenen, het hout, het glas, en de hars.

208. **Geleidende vloeistoffen, wijze van verwarming.** De vloeistoffen zijn alle zeer slechte geleiders van de warmte, uitgeonderd evenwel het kwik, dat een metaal is. Zij geleiden elfs zoo slecht, dat Rumford aangenomen had dat het water n het geheel niet geleidde. Maar dat het dit wel doet, hoewel zeer zwak, is nu evenzoo als van alle andere vloeistoffen, door juiste proeven boven allen twijfel verheven.

Fig. 170. Toestel van Ingenhousz.

Uit de zwakheid van haar vermogen om te geleiden vloeit voort, dat de vloeistoffen niet op dezelfde wijze warm worden als de vaste ligchamen. Men moge een vast ligchaam van boven, van onderen of aan eene van zijne zijden verwarmen, in alle gevallen wordt de warmte van deel tot deel overgebracht en wordt de geheele massa warm. Zoo gaat het nu niet met eene vloeistof; als men haar van boven

maakt plant de warmte zich uiterst langzaam voort, en men kan er zoo niet in slagen haar geheel te verwarmen. Als men haar van onderen warm maakt, stijgt de temperatuur van de vloeistof spoedig; echter is het niet door geleiding, maar door op- en nedergaande stroomen, die door de bewegelijkheid der moleculen in de geheele vloeibare massa ontstaan.

Om het bestaan van deze stroomen te doen zien, neemt men eene proef als in fig. 171. In een glazen vat dat eenigzins diep is, doet men water waarin men eene stof werpt die bijna even dicht is, bijv. houtzaagsel, dan maakt men dit vat van onderen langzaam warm. Nu zetten de onderste lagen uit, naarmate zij warmer worden, worden minder dicht en klimmen in het vat, terwijl de bovenste lagen, kouder en dichter, nederdalen en de plaats van de eerste innemen, op hare beurt warm worden, daarna weer klimmen, en zoo voort, totdat de geheele massa verwarmd is.

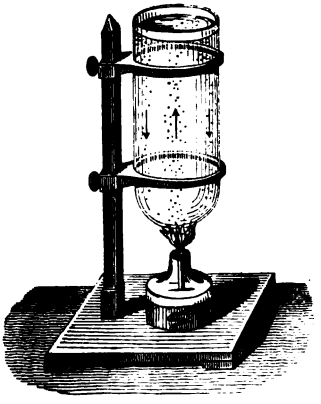


Fig. 171. Wijze van verwarming der vloeistoffen.

Het wordt mogelijk deze stroomen waar te nemen, door het houtzaagsel dat men zich langzaam in het midden ziet opheffen en langs de kanten weer dalen.

209. **Geleidende gassen.** De gassen zijn zeer slechte geleiders der warmte; maar het is niet gemakkelijk dit dadelijk te bewijzen, wegens de groote bewegelijkheid hunner moleculen. Zoodra zij verwarmd zijn in een zeker gedeelte, welk ook van hunne massa, komen daar uitzettingen en stroomen uit voort, waardoor de verwarmde gedeelten zich gaan vermengen met de koude deelen; vandaar eene algemeene verhooging van temperatuur, die men geneigd zou zijn als een uitwerksel der geleiding aan te zien. Maar altijd als de gassen in hunne bewe[illegible]d zijn, merkt men op dat zij

ıgenoeg niet geleiden, gelijk vele voorbeelden het zullen ɜwijzen.

210. **Verschillende toepassingen.** Het onderscheid tusschen ɜ verschillende ligchamen, wat het geleiden betreft, heldert ıs vele verschijnselen op, en biedt talrijke toepassingen aan. ijv. als in onze woningen de gebakken steenen vloeren ons ɔuder voorkomen dan die van hout, is dit omdat zij beter ɜ warmte geleiden. De tapijten zijn veel warmer omdat zij ɜ warmte veel minder geleiden. Wegens de zwakke geleiing der warmte in de houten voorwerpen, bekleedt men de andvatten der koperen koffijkannen met matwerk, zet men outen ooren aan trekpotten, aan draagbare fornuizen, en andvatten van dezelfde stof aan strijkijzers.

Ligchamen, die op dezelfde temperatuur zijn, veroorzaken ikwijls zeer verschillende gewaarwordingen van koude of 'armte bij ons, wanneer wij ze aanraken. Leg bijv. in een ertrek uwe hand op een houten meubel of op de bladen van en boek, zij zullen u niet zeer koud voorkomen. Leg haar ɜgen een marmeren lijst, en de gewaarwording van koude al grooter zijn. Als gij een metaal aanraakt zal zij nog grooɜr zijn. Al die ligchamen, die kouder zijn dan uwe hand, emen er de warmte van af, maar in eene ongelijke hoeveeleid; de beste geleiders nemen er het meest van af, omdat zij aar gemakkelijker in hunne stof overbrengen. Als al die lighamen warmer waren dan uwe hand, maar allen, onderling 'ergeleken, van dezelfde temperatuur, zou het metaal u het 'armste toeschijnen, vervolgens het marmer, het hout en het ıapier, want dan zijn de beste geleiders degene die het meeste 'armte afgeven. Om ijs in het warme saizoen te bewaren, loet men er stroo, zaagzel en wollen dekens om heen; men geɔruikt dezelfde middelen, om gedurende de koude de planten 'oor de vorst te bewaren. In het eerste geval is het te doen om ich tegen het indringen, in het tweede tegen het verlies van de 'armte te verzetten; en dit geschiedt altijd door niet geleilende stoffen.

De vederen der vogels, de vachten der dieren, zijn toepassingen, welke de natuur ons aanbiedt, van het niet geleiden ler warmte door de lucht. Niet alleen toch zijn de vederen, de 'achten, de wol, slecht geleidende stoffen; maar tusschen ıunne vezels is eene zeer groote massa lucht opgesloten,

als een scherm dient om het verlies van warmte tegen te g
In de warme landen zijn de vachten der dieren met ko
weinig dicht haar bezet; in het Noorden daarentegen zij
lang, dicht en zeer fijn. De vogels van de poolstreken
ben een zeer zacht dons, dat eiderdons genoemd wordt
met de vacht van den witten haas van Rusland, een
stoffen is, die het best de warmte tegenhouden.

In het plantenrijk is de boomschors, die zeer weinig
is en welker zeer poreus weefsel veel lucht bevat, ook
zeer goed voorbehoedmiddel tegen de koude. Eindelijk i
door hunne vezelachtige samenstelling en door de lucht,
er de tusschenruimte van vult, dat de kleederen die
warm noemen, ons tegen de koude beschermen. Zij zijn
warm, op zich zelf genomen, zij geven ons geene war
maar zij onderhouden om ons heen eene laag lucht, die
beletsel wordt voor de warmte om zich vrij te maken.
langer dat ook de vezels van de weefsels onzer kleed
zijn, hoe warmer deze ons toeschijnen. Dezelfde oor
houdt het ligchaam gedurende den slaap warm, wanneer
op een donzen bed ligt, en bedekt is met wollen deke
een donzen dekbed.

HOOFDSTUK V.

MAAT VAN DE UITZETTINGEN DER VASTE STOFFEN, DER VI STOFFEN EN DER GASSEN.

211. **Bedrag van de uitzetting der vaste stoffen.** Daar de
zetting der ligchamen door de warmte een algemeen versc
sel is, dat op alle voorwerpen die ons omringen zijn inv
uitoefent, en onophoudelijk hunnen vorm en hun volume
zigt, begrijpt men ligtelijk, dat het er niet alleen bij pro
voor de natuurkunde of scheikunde op aan komt om rekeni
houden van den aanwas in volume, die door eene verhoo
van temperatuur ontstaat, maar ook bij eene menigte om
digheden, die bij de nijverheid van belang zijn. De nat
kundigen hebben dan ook fijne proeven genomen om met j
heid de hoegrootheid der uitzetting van ieder ligchaam te bep
bij eene gegevene temperatuurs-verhooging. De uitkomsten

deze onderzoekingeu zullen wij mededeelen, en ons eerst met de vaste ligchamen bezig houden. Maar daar wij gezien hebben (zie 185) dat men bij deze ligchamen twee soorten van uitzetting kan beschouwen, de eene in de lengte, de andere in volume, vloeit daaruit voort dat de studie over de uitzetting in twee deelen verdeeld wordt; het eerste met betrekking tot de linéaire, het tweede tot de cubieke uitzettingen.

Linéaire uitzetting. Men heeft voor term van vergelijking van de linéaire uitzetting der ligchamen onderling de verlenging genomen, die de lengte-éénheid ondergaat, wanneer zij verwarmd wordt van 0° tot 1°, en men heeft aan die verlenging den naam van *coëfficiënt van linéaire uitzetting* gegeven. De coëfficiënten van linéaire uitzetting van een groot aantal stoffen zijn bepaald op het einde van de vorige eeuw door twee fransche natuurkundigen, Lavoisier en Laplace. Hunne methode bestond daarin, dat zij eerst de stof die zij onderzochten tot eene staaf maakten; vervolgens hielden zij de staaf in smeltend ijs, en bepaalden er dan de lengte van. Daarop hielden zij de staaf in warm water, bijv. van 100 graden, en maten op nieuw de lengte op deze temperatuur; dan merkten zij eene verlenging op, die de geheele uitzetting aanwees bij eene verhooging van temperatuur van 100 graden. Deze verlenging door 100 deelende, kreeg men de uitzetting van de geheele staaf bij 1 graad, en deze laatste uitzetting eindelijk deelende door het getal lengte-éénheden die de staaf had, kreeg men de verlenging die overeenkwam met eene enkele lengte-eenheid, d. i. de coëfficiënt van de linéaire uitzetting. Zoo doende heeft men de volgende getallen verkregen:

Coëfficiënten van linéaire uitzetting voor 1 *graad.*

Glas	0,00000861	Rood-koper	0,00001718
Platina	0,00000884	Geel-koper	0,00001878
Staal	0,00001079	Zilver	0,00001909
IJzer	0,00001220	Lood	0,00002857
Goud	0,00001466	Zink	0,00002942

Wanneer men deze tafel ziet, bemerkt men dat de coëfficiënten van uitzetting altijd zeer klein zijn. Bij voorbeeld als men zegt dat de coëfficiënt van geel-koper ongeveer 0,000018 is, wil men zeggen dat eene staaf van die stof,

wanneer hare temperatuur één graad hooger wordt, slechts 18 millioenste deelen van hare lengte langer wordt, of wat hetzelfde is, dat eene staaf van een millioen ellen, in 't zelfde geval 18 ellen langer worden zou.

Cubieke uitzetting. Men noemt *coëfficiënt van cubieke uitzetting* van eene stof de toeneming in volume van de volume-éénheid dezer stof bij eene temperatuur-verhooging van één graad. Daar berekening doet vinden, dat de coëfficiënt der cubieke uitzetting van een ligchaam ongeveer driemaal zijn coëfficiënt van linéaire uitzetting is, wordt de eerste gevonden door de getallen in de hier boven gestelde tafel met 3 te vermenigvuldigen.

212. **Toepassingen der uitzetting van vaste stoffen.** De uitzetting der ligchamen door de warmte, geeft ons verklaring van vele verschijnselen. Bijv. als men te snel warm water in een glazen vat giet springt het; dit komt door dat, daar het glas een slechte geleider voor de warmte is, de binnenwand veel spoediger warm wordt dan de buitenwand, vanwaar eene ongelijke uitzetting, die de breuk veroorzaakt. Hoe dunner de wanden zijn, hoe eerder de massa gelijkelijk verwarmd is, en hoe minder men voor eene breuk behoeft te vreezen. In een metalen vat komt hetzelfde niet voor, daar de metalen goede warmtegeleiders zijn en de geheele massa dus gelijkelijk verwarmd en uitgezet wordt.

Door dezelfde ongelijkheid van uitzetting veroorzaakt eene waskaars, te nabij een spiegel geplaatst, er verscheidene barsten in. Soms barst in onze vertrekken een voorwerp van glas of kristal op het oogenblik dat men de deur of een raam opent. Dit verschijnsel komt voort uit eene ongelijke inkrimping, welke door een kouden luchtstroom, die van buiten en tegen het voorwerp aankomt, veroorzaakt wordt. Over het algemeen moet men bij alle glazen voorwerpen, omdat zij van eene slecht geleidende stof zijn, de te snelle afwisselingen van temperatuur vermijden, omdat anders die voorwerpen barsten.

Bij de verschillende soorten van samenstelling van werktuigen moet men de uitzetting der metalen in aanmerking nemen: bijv. bij het stellen van rails op den spoorweg. Als iedere rail in dadelijke aanraking met den volgenden was, zouden de rails gezamenlijk als ééne enkele staaf werken, en zouden daaruit *voor vrij lange* wegen aanmerkelijke uitzettingen voortkomen,

'aardoor de rails genoodzaakt zouden zijn zich te krommen, f zich van de houten *leggers* waar zij op bevestigd zijn, los te ıaken, of deze op te ligten. Daar toch de de coëfficiënt van uitetting van ijzer 0,000012 is, zal eene staaf van ijzer, die een ıeter lang is en waarvan de temperatuur 30° verandert, 30 maal ,000012, d. i. 0,00036 meters langer worden, en zullen ij gevolg 1000 meters in het zelfde geval 0,36 meter langer 'orden.

Als men nu den weg van Rotterdam naar Emmerik tot voorreeld neemt, die 140 kilometers lang is, zou de geheele verenging der rails 140 maal 36 centimeters zijn, of ongeveer 0 meters; en daar de veranderingen in temperatuur der rails 'el meer dan 30° kunnen bedragen, komen er werkelijk nog rootere verlengingen of inkrimpingen voor. Men vermijdt e ongelukken, die er uit zouden voortkomen, door tusschen wee op elkander volgende rails genoeg tusschenruimte te ıten, opdat de uitzetting vrij plaats hebbe: op onze lijnen ; die tusschenruimte gewoonlijk 3 millimeters bij de gemidlelde temperatuur.

Voor het overige is de kracht, waarmede de metalen door de 'armte uitzetten, aanmerkelijk, en niets kan er weerstand an bieden; zoo heeft men die dan ook kunnen gebruiken om ıuren weder recht te zetten en gespleten gewelven te herstellen.

213. **Compensatie-slinger.** De compensatie-slinger is weder ene toepassing van de uitzetting der metalen. Om er het ıut van te begrijpen, moeten wij ons herinneren hetgeen geegd is, waar wij over de theorie van den slinger handelden zie 60), namelijk dat zijne slingeringen van gelijken duur, *sochronisch*, zijn, en dat het deze eigenschap is, die hem ıeeft doen toepassen als regulateur bij de uurwerken. Ook ıebben wij gezien, dat, hoe langer een slinger is, hoe langamer hij slingert, en hoe korter hij is, hoe sneller. Bij ge'olg zou een slinger gevormd uit een enkele staaf in een schijf indigende, zoo als in fig. 51, geen juiste regulateur kunnen ijn, want als de temperatuur hooger werd, zou hij langer vorden, en zou het uurwerk langzamer gaan: het omgekeerde ;ou plaats hebben, indien hij door de koude inkromp. Deze ıadeelen zijn in 1738 door Leroy, uurwerkfabrikant te Paijs, verbeterd, door het geneesmiddel aan de oorzaak der :waal zelf te ontleenen. Daartoe heeft Leroy de staaf v

den slinger samengesteld uit verscheidene metalen stave
lijk in fig. 172. De staven *a*, *b*, *c*, *d*, zijn van staal,
lengen zich allen van boven naar beneden als de temp
hooger wordt, en dit doet de schij
De staaf *d*, die deze draagt, is
maakt aan een stuk *m n*, dat doo
staven *k* en *h* gedragen wordt,
het stuk *o r* gesoldeerd zijn en d
van boven naar beneden kunnen uit
maar alleen van beneden naar
dit doen zij en heffen dus het st
en met dit de schijf op, zoodat l
noeg is, opdat deze noch dale noc
dat de uitzetting van beneden naar
van de staven *k* en *h*, juist de
van de staven *a*, *b*, *c*, *d* in tegeng
richting compenseert. Men verkri
door de staven *k* en *h* van geel-kop
meer uitzetbaar metaal dan staal,
vaardigen, en aan de koperen en
staven lengten te geven in omge
verhouding met de coëfficiënten v
zetting van deze twee metalen; d.
als het geel-koper bijv. tweemale
uitzetbaar was dan het staal, zijne
tweemaal kleiner moest zijn dan d
het laatste metaal.

Fig. 172. Compensatie-slinger.

De beste compensatie-slingers,
de sterrekundigen in gebruik zij
kwikslingers. Zij zijn samengesteld u
metalen stang, welke een cylinder
glas draagt, dat met kwik gevuld is.
door verhoogde temperatuur de stang langer, dan
dezelfde reden het kwik in het glas uit en rijst in di
Het zwaartepunt, door de langer geworden stang *lag*
komen, komt door het uitzettende kwik weer *hooger*.
alle voorzorgen in acht te nemen kan men er toe kom
kwikslinger te vervaardigen, bij welken die afstand tu
ophangpunt en zwaartepunt nagenoeg standvastig blijft
bij groot verschil in temperatuur.

UITZETTING DER VLOEISTOFFEN.

214. **Ware en schijnbare uitzetting der vloeistoffen.** Dat de vloeistoffen meer uitzetbaar zijn dan de vaste stoffen, hebben wij reeds gezien (zie 185). Dit is een gevolg van haren zwakken samenhang; maar hare uitzetting is veel minder regelmatig, en wel des te minder naarmate hare temperatuur die nadert, waarop zij beginnen te koken.

Bij de vaste ligchamen hebben wij gelegenheid gehad twee soorten van uitzetting te beschouwen; de eene in de lengte, de andere in volume. Nu is het duidelijk dat wij alleen de laatste bij de vloeistoffen hebben waar te nemen, maar men kan haar uit twee oogpunten bezien: de *ware* en de *schijnbare uitzetting*. De eerste is de wezenlijke vermeerdering van volume, die eene vloeistof ondergaat, wanneer zij warm wordt. De schijnbare uitzetting is die, die zich aan het oog voordoet, die, welke men waarneemt in het vat, dat de vloeistof inhoudt. Bijv. bij de thermometers is, wanneer de vloeistof zich uitzet en in de buis komt, dat slechts eene schijnbare uitzetting, die minder bedraagt dan de wezenlijke uitzetting. Terwijl toch het kwik zich uitzet, zet ook de bol van den thermometer zich uit. Zij neemt in volume toe, en bij gevolg verheft de vloeistof zich niet zoo hoog als zij het zou doen, wanneer het volume van den bol onveranderd bleef. Daar nu, welke ook de aard der stof van het vat zij, waarin eene vloeistof besloten is, deze laatste meer uitzetbaar is dan het vat, ziet men dat het altijd schijnbare uitzettingen zijn, die men bij de vloeistoffen waarneemt.

Bij de vloeistoffen is de coëfficiënt van uitzetting, evenals bij de vaste stoffen, de aanwas van de éénheid van volume bij eene verheffing van temperatuur van één graad. De coëfficiënten der verschillende vloeistoffen zijn zeer verschillend. In een glazen vat is de coëfficiënt van schijnbare uitzetting van kwik, 15 honderdduizendste, die van het water is 46 honderdduizendste, d. i. driemaal grooter; de alkohol zet zich nog meer uit, want zijn coëfficiënt van uitzetting is 116 honderdduizendste, of bijna driemaal die van het water. De coëfficiënten van ware uitzetting zijn iets grooter.

215. **Maximum van de dichtheid van het water.** Het water levert dit opmerkelijke verschijnsel op, dat, terwijl het door *verkoeling eerst inkrimpt*, als alle ligchamen, er een oogen-

blik komt, dat het, hoezeer de vermindering in temperatuur voortgaat, ophoudt in te krimpen, ja zelfs begint zich uit te zetten. Op 4° boven 0 bereikt het water den hoogsten graad van inkrimping, of, wat hetzelfde beteekent, zijn maximum van dichtheid. Deze opmerking is gemaakt door den gang van een thermometer, met water in plaats van met kwik gevuld, met dien van eenen kwik-thermometer te vergelijken. Men heeft op die wijze opgemerkt, dat het water in den eersten hoe langer hoe meer inkromp, tot dat de kwik-thermometer tot 4° gedaald was; maar dat vervolgens, terwijl deze laatste naar het nulpunt daalde, de thermometer met water klom. Dit verschijnsel hangt zonder twijfel af van eene nieuwe orde, waarin zich de moleculen van het water plaatsen vóór de bevriezing. Eenige andere stoffen leveren gelijksoortige afwijkingen van den regel op; zoo zetten gesmolten ijzer, zwavel, bismuth zich uit, op het oogenblik dat zij in den vasten toestand overgaan.

De hoogste graad van dichtheid, welke het water aanneemt op 4°, levert de verklaring van hetgeen in Zwitserland opgemerkt is, namelijk dat de temperatuur van het water op den bodem der meeren altijd nabij 4° is, hoewel de bovenste lagen verandering van temperatuur ondergaan, zoodat zij in den winter bevriezen, terwijl zij in den zomer warm worden tot 25°. Bij den aanvang toch van den winter worden de bovenste lagen langzamerhand afgekoeld, door de aanraking met de lucht, tot zij op 4° komen; dan dalen zij door hare grootere dichtheid, en worden door andere vervangen, die op hare beurt afkoelen, en zoo voort tot dat de geheele massa water op 4° gekomen is. Van dit oogenblik af gaan de bovenste lagen voort met kouder worden, en er heeft uitzetting plaats; nu houden zij dus op met dalen, en daarom blijft de temperatuur der meeren den geheelen winter op 4°, al is ook de oppervlakte bevroren. In den zomer voedt de gesmolten sneeuw der Alpen de meeren met koud water, dat, door zijne dichtheid, weder zoo laag mogelijk zinkt, en zoo er toe medewerkt om er in den winter en in den zomer eene temperatuur te houden van omtrent 4°.

Omdat het water een maximum van dichtheid heeft op 4°, heeft men in het tiendeelige stelsel het gewicht van een cubiek centimeter gedestilleerd water van 4 graden, gewogen in *het luchtledig*, als gewichts-éénheid aangenomen.

UITZETTING DER GASSEN.

216. **Bedrag der uitzetting van de gassen.** De gassen zijn niet alleen de meest uitzetbare van alle ligchamen, maar ook die waarvan de uitzetting het regelmatigst is. Men heeft eerst aangenomen, op grond van de proeven van Gay Lussac, dat alle gassen zich gelijkelijk uitzetten bij eene gelijke verhooging van temperatuur, d. i. dat zij allen denzelfden coëfficiënt van uitzetting hadden. Maar men heeft sedert eenige jaren ontdekt, dat de coëfficiënten van uitzetting van verschillende gassen onderling een weinig verschillen. Dit verschil is echter zoo gering, dat men wel kan aannemen, dat alle gassen denzelfden uitzettings-coëfficiënt hebben. Men heeft gevonden dat dit 366 honderdduizendste bedraagt. Dit wil zeggen dat 100,000 liters lucht, of ander gas, een graad warmer wordende, een aanwas van 366 liters verkrijgen. Deze uitzetting bedraagt achtmalen die van het water.

217. **Talrijke toepassingen van de uitzetting der gassen.** De uitzetting der gassen levert ons belangrijke toepassingen op, niet alleen in onze huishouding, maar ook in de verschijnselen van de atmospheer. Wanneer bij voorbeeld in onze woningen de lucht verwarmd en bedorven is door de tegenwoordigheid van een groot aantal personen, zet zij zich uit en verheft zich door den minderen graad van hare dichtheid tot in het bovenste gedeelte der vertrekken; en om haar eenen uitweg te geven maakt men boven aan de vensters luchtgaten, waardoor de warme lucht ontsnapt, terwijl de frissche, zuivere lucht door de voegen van de deuren en vensters binnen komt. De bezoekers der theaters, die op de hoogste galerij zitten, hebben veel te lijden van de hooge temperatuur der lucht, die naar de hoogste gedeelten der zaal trekt, terwijl zij, die nabij het orchest zitten, eene frissche lucht inademen.

De warme-luchtgaten, die men op de kagchels maakt, zijn ook eene toepassing van de uitzetting der gassen. De lucht van onderen er in komende, loopt door buizen die in de wanden zijn aangebracht rond, wordt er warm, en ontsnapt vandaar in het vertrek. Zoo is het ook met de warme-luchtgaten in groote gebouwen, waaruit de lucht door middel van calorifères, die onder de gebouwen meest in de kelders geplaatst zijn, *verwarmd ontsnapt.*

Het trekken onzer schoorsteenen ontstaat ook door de uitzetting der lucht. Verwarmd door de brandstoffen, die in den haard branden, verheft zich de lucht in den schoorsteen met eene snelheid, die grooter wordt, naarmate zij zich meer uitzet; hieruit ontstaat een snelle luchtstroom, die de verbranding onderhoudt en vermeerdert, door gedurig de verbruikte zuurstof door andere te vervangen. Wanneer men de uitwerkselen der uitzetting en inkrimping van de lucht in de atmospheer gadeslaat, ontdekt men dat daarin de oorzaak gelegen is van verschijnselen, die eenen ontzagchelijken invloed hebben op het welzijn van al wat op aarde leeft. Bij voorbeeld als de grond sterk is verwarmd door de brandende zonnestralen, trachten de luchtlagen, die hem aanraken, dezelfde temperatuur aan te nemen en zoo eene verstikkende atmospheer te vormen; maar deze luchtlagen zetten zich meer en meer uit, en verheffen zich omdat zij ligter zijn, terwijl de bovenste lagen, die kouder en dichter zijn, beurtelings de plaats er van komen innemen. Zoo wordt de hooge temperatuur, die zich in de lagere luchtlagen tracht te vormen, aanmerkelijk gematigd en overtreft de grenzen niet, die voor planten en dieren dragelijk zijn.

Eindelijk zijn het de uitzettingen en inkrimpingen in de atmospheer over eene groote uitgestrektheid land, die de winden veroorzaken, van den liefelijksten zuidenwind tot den hevigsten orkaan. De winden nu, zoo vreeselijk somtijds, zoo nukkig in hunne richting, zoo veranderlijk in hunne sterkte, hebben niet alleen ten gevolge, dat zij de warmste deelen van de atmospheer met de koudste mengen, en de te hooge temperatuur en de te sterke koude op die wijze matigen, maar ook dat zij de bedorven lucht uit onze steden jagen, en door versche lucht doen vervangen. Hierdoor zijn zij eene der voornaamste oorzaken van gezondheid; zonder winden zouden onze steden brandpunten van besmetting zijn, waar pest en epidemische ziekten van allerlei aard voortdurend heerschten. Zonder de winden zouden de wolken onbewegelijk blijven boven de streek die ze had zien ontstaan, het grootste deel van den aardbol zou tot eene algeheele droogte gedoemd zijn, en rivieren noch beken zouden den grond bevochtigen. Door den wind voortgedreven, integendeel, worden de wolken, die *boven de zeeën* gevormd zijn, naar het binnenste der vaste

nden gevoerd, lossen zich daar op in regen, en deze is, nadat j den grond vruchtbaar heeft gemaakt, de oorzaak van die megte van rivieren die zich in de verschillende oceanen werpen, rwijl zij op die wijze eenen voortdurenden omloop vormen van : zeeën naar de vaste landen en van deze naar de zeeën.

218 **Dichtheid der gassen.** Wij weten dat de dichtheid der ıste stoffen en der vloeistoffen bepaald is door vergelijking et water (zie 100); die der gassen is het door vergelijking et de lucht; d. i. men heeft, na het gewicht van een zeker ılume lucht als eenheid genomen te hebben ter vergelijking, ·zocht hoveel, bij gelijk volume, de andere gassen wegen. aar daar deze ligchamen zeer samendrukbaar, zeer uitzetıar en bij gevolg zeer veranderlijk in dichtheid zijn, heeft en ze moeten waarnemen op eene bepaalde temperatuur en ·ukking; daarom heeft men de temperatuur van 0° gekozen j eene drukking van 76 centimeters (zie 115). In korte oorden: *de dichtheid van een gas, bij gelijk volume, is de ·rhouding van zijn gewicht met dat van de lucht, terwijl zij ·ide eene temperatuur van* 0 *graden hebben en onder eene druk·ing van* 76 *centimeters kwik staan.*

Om de dichtheid te vinden van een gas, bijv. van de zuurtof, neemt men een glazen bol met een kraantje, gelijk aan ien van fig. 87 (pag. 128), vervolgens weegt men hem beurelings vol lucht, vol zuurstof en luchtledig. Van de twee erste uitkomsten het gewicht van den luchtledigen ballon afrekkende, houdt men voor resten het gewicht van de lucht n van de zuurstof over, die beurtelings in den bol waren beloten. Wanneer men vervolgens het tweede gewicht door ıet eerste deelt, heeft men de gezochte dichtheid gevonden. Volgens hetgeen hierboven is gezegd, moet men wegen bij ·ene temperatuur van 0° en eene drukking van 76 centimeters; oo men dit niet doet, zouden er verbeteringen moeten worlen aangebracht, die niet zonder berekening kunnen geschieden. Wanneer men te werk gaat op de genoemde wijze, vindt men le volgende maten van dichtheid:

Maten der dichtheid van de gassen.

Lucht	1,0000	Zuurstof	1,1056
Waterstof	0,0692	Koolzuur	1,5290
Stikstof	0,9714	Chloor	2.44

Volgens de hierboven staande getallen is het waterstofgas het ligste van alle gassen, en dus van alle ligchamen, terwijl zijne dichtheid veertien en een halve maal geringer is dan die van de lucht.

HOOFDSTUK VI.

VERANDERINGEN VAN TOESTAND IN DE LIGCHAMEN, DOOR DE WERKING DER WARMTE.

219. **Smelting.** De algemeene uitwerkselen der warmte behandelende (zie 184), hebben wij gezien dat hare werking niet alleen daarin bestaat, dat zij de ligchamen zich doet uitzetten, maar ook daarin dat zij ze doet overgaan van den vasten in den vloeibaren toestand of omgekeerd, naarmate de temperatuur rijst of daalt; vervolgens van den vloeibaren in den luchtvormigen toestand of omgekeerd. Deze verschillende veranderingen van toestand zullen wij gaan behandelen onder de namen *smelting*, *overgang tot den vasten*, *den dampvormigen*, *en den vloeibaren toestand.*

Smelten noemt men den overgang van een vast ligchaam in den vloeibaren toestand, door de werking der warmte. Dit verschijnsel doet zich voor, wanneer de kracht van samenhang, die de moleculen vereenigt, door de kracht van terugstooting der warmte wordt overtroffen (zie 4); maar, daar de samenhang bij de verschillende stoffen verschilt, heeft dit ook plaats, wat de temperatuur betreft, waarop zij smelten. Voor zekere stoffen is deze temperatuur zeer laag, terwijl zij voor andere zeer hoog is, zoo als de volgende tafel aantoont.

Temperaturen van smelting.

Kwik	— 40°	Bismuth	264°
IJs	0	Lood	334
Kaarsvet	+ 33	Zink	411
Witte was	65	Antimonium	425
Zwavel	111	Zilver	1000
Tin	228	Goud	1200

Alle ligchamen *smelten* niet door de werking der warmte, vele *worden ontleed*; zoo als papier, hout, wol, beenderen, mar-

mer enz. De enkelvoudige ligchamen, die niet kunnen worden ontleed, omdat zij maar uit ééne stof bestaan, worden alle door warmte gesmolten, één uitgezonderd, dat tot nog toe aan de hoogste temperaturen weerstand geboden heeft, de kool.

220. **Wetten der smelting.** De proef doet zien, dat het verschijnsel van de smelting altijd onderworpen is aan de beide volgende wetten:

1°. *Elk ligchaam komt tot smelting op eene temperatuur, die voor elke stof bepaald en onveranderlijk is.*

2°. *Op het oogenblik, dat het zijne temperatuur van smelting bereikt heeft, wordt het niet warmer tot dat het geheel gesmolten is.*

Bij voorbeeld een stuk ijs, aan de zonnestralen blootgesteld of voor een haard gelegd, zal niet warm kunnen gemaakt worden boven het nulpunt, daar het ijs op deze temperatuur smelt. Als het aan eene sterkere hitte blootgesteld is, zal het spoediger smelten, maar de temperatuur zal altijd nul blijven, tot dat geheel het stuk ijs gesmolten is.

221. **Gebonden warmte, gedurende de smelting geabsorbeerd.** De tweede wet der smelting toont aan dat al de warmte, die men aanwendt, geheel verbruikt wordt om het ligchaam vloeibaar te maken, maar geen macht heeft om zijne temperatuur te verhoogen. Om uit te drukken dat de zoo geabsorbeerde warmte, gedurende het smelten, om zoo te zeggen, in de vloeistof verborgen is, omdat zij niet op den thermometer noch op onze zintuigen werkt, heeft men haar den naam van *latente*, *gebonden* warmte gegeven.

De volgende proef doet het bestaan van de *gebonden* warmte duidelijk zien: men neemt een kilogram fijn gestooten ijs op 0° en men giet er 1 kilogram water van 79° op. Daar het ijs nu zeer spoedig smelt, heeft men een mengsel van 2 kilogram water, maar dat, in plaats van eene gemiddelde temperatuur te hebben, tusschen die van het ijs en het warme water, *geheel en al op het nulpunt staat.* Het kilogram ijs van 0° is dus veranderd in een kilogram water ook op 0°; maar, wat zijn de 79° die het warme water bevatte geworden, daar dit ook op deze temperatuur gedaald is? Zij bestaan nog geheel en al in het water van 0°, maar zij verwarmen, noch zetten het uit, geen ander uitwerksel hebbende, dan dat zij het vloeibaar maken. Deze proef toont ons dus, dat een kilogram ijs om te smelten, de warmte, die noodig is om 1 kilogram water van 0° op

79° te brengen, in den gebonden toestand absorbeert; van daar zegt men dat *de warmte der smelting van ijs*, of, wat hetzelfde beteekent, *de gebonden warmte van water*, 79° bedraagt. Alle ligchamen, die smelten, absorbeeren zoo in den gebonden toestand eene hoeveelheid warmte, die nu grooter dan kleiner is, en verschilt bij verschillende stoffen.

De ontzettende hoeveelheid warmte door smeltend ijs geabsorbeerd, verklaart ons waarom men dikwijls ziet dat lang na dooiweder ijsmassa's van eenigen omvang blijven bestaan; omgekeerd is het ook de gebonden warmte, in het water opgesloten, die maakt dat dit, hoewel tot op 0° verkoeld, bij een volume van eenige uitgebreidheid, een vrij langen tijd noodig heeft om geheel te bevriezen. Het bevriezen kan geen plaats hebben dan voor zooverre de 79° warmte, in het water bevat, van den gebonden in den waarneembaren toestand overgegaan zijn, en zoo eene oorzaak van verwarming worden, die de vorming van het ijs vertraagt.

222. **Het bevriezen.** Dezelfde stoffen die door warmte smelten, keeren terug tot den vasten toestand, door de afkoeling, en deze terugkeer tot hun vorigen toestand is het, welken men *bevriezen* of *vast worden* noemt. *Voor iedere stof is de temperatuur waarop het vast worden begint, dezelfde als die waarop zij begint te smelten.* Bijv. daar de zwavel op 111° begint te smelten, begint ook wederkeerig gesmolten zwavel vast te worden, als zij afkoelt tot 111°. *Tot dat het vast worden vollooid is, blijft*, wat meer is, *de zwavel standvastig*, d. i. *onveranderlijk* op 111°; dit komt daardoor dat de vloeistof, naarmate zij vast wordt, de gebonden warmte teruggeeft, die zij geabsorbeerd had om te smelten. Hetzelfde verschijnsel merkt men altijd op als eene vloeistof bevriest.

Vele vloeistoffen, als alkohol en aether, worden niet vast bij de grootste koude waaraan men ze heeft kunnen blootstellen. Het zuivere water wordt vast op 0°; het zoute water der zeeën op — 2°,5: de olijf- en koolzaad-olie op — 6°, lijn- en noten-olie op — 27°.

Bij het water komt dit opmerkelijke verschijnsel voor, dat zijn volume, om ijs te vormen, op eene merkbare wijze toeneemt. Nu hebben wij reeds, toen wij over het maximum van dichtheid van het water spraken (zie 215) gezien dat dit, *terwijl het kouder* wordt, zich van 4° tot 0° uitzet; deze

uitzetting is het die nog voortgezet wordt op het oogenblik, dat het bevriest. De toeneming in volume, die zich zoo op het oogenblik van het bevriezen van het water vertoont, is de oorzaak van eene aanmerkelijke uitzettingskracht, die de meest weerstand biedende vaten kan doen springen. Hierom is het in de tijden van vorst geraden, zorgvuldig te vermijden, dat het water in de vergaderbakken blijft staan, even als in kuipen, leibuizen enz. in een woord in alle toestellen, die door het ijs zouden gebroken worden.

Wanneer wij de uitzetting waarnemen, die het water ondergaat wanneer het bevriest, blijkt het duidelijk dat het ijs minder dicht moet zijn dan het water; dit heeft waarlijk plaats en daarom drijven de ijskorsten, die de rivieren vormen, op hare oppervlakte In de Pool-zeeën, waar de temperatuur altijd zeer laag is, treft men ophoopingen van drijvend ijs aan, die men *ijsvelden* heeft genoemd; zij verheffen zich 2 of 3 meters uit de zee, waarin zij 5 of 6 meters zinken, en zij strekken zich soms uit tot 60 kilometers. Men ziet ook soms op die zeeën ijsbergen drijven, die niet dezelfde uitgestrektheid hebben, maar aanmerkelijke hoogten bereiken.

223. **Kristal-vorming.** Wanneer de ligchamen langzaam van den vloeibaren in den vasten toestand overgaan, nemen hunne moleculen, in plaats van zich op eene ongeregelde wijze bijeen te voegen, over het algemeen eene geregelde stelling aan, waardoor die ligchamen geometrische vormen van cubussen, pyramides, prisma's aannemen, die volmaakt bepaald en onder den naam van *kristallen* bekend zijn. De sneeuwvlokken, als men ze door een vergrootglas beziet, gevormd wordend ijs, kandijsuiker, bergkristal, aluin, zeezout en vele andere bieden ons welbekende voorbeelden van kristal-vorming aan.

Men onderscheidt twee wijzen, om de ligchamen tot kristallen te maken: die langs den *droogen*, en die langs den *natten weg*. Bij de eerste wijze, doet men de ligchamen smelten door de werking der warmte, en laat ze dan weder langzaam afkoelen. Het vat, waarin het ligchaam dan is, wordt met kristallen bekleed, welke men te zien krijgt door het vat om te keeren en het overschot van vocht er uit te gieten voor dat alles vast is geworden. Zoo laat men zwavel, bismuth en veel andere metalen goed kristalliseeren. De tweede wijze bestaat

daarin, dat men het ligchaam, dat men wil laten kristalliseeren, in water oplost, en de vloeistof langzaam laat uitdampen. Het opgeloste ligchaam zet zich neder op de randen van het vat, en geeft beter gevormde en grootere kristallen naarmate hunne vorming langzamer gegaan is. Zoo laat men suiker en de zouten kristalliseeren.

Ook bij den overgang van den dampvormigen in den vasten toestand kan men kristallen verkrijgen, bijv. bij kamfer, jodium, salmiak, enz. Men noemt dit *sublimeeren.*

224. **Koud makende mengsels.** Het absorbeeren van warmte, dat plaats heeft bij den overgang van den vasten in den vloeibaren toestand (zie 221), wordt dikwijls gebruikt in de laboratoriën en in de industrie, om sterke kunstmatige koude voort te brengen. Men verkrijgt dit door stoffen samen te mengen, die onderling eene groote affiniteit hebben, en waarvan één ten minste eene vaste stof is. Het mengsel dat het meest gebruikt wordt, is dat van één deel gewoon zeezout en twee deelen fijn gestooten ijs of sneeuw. Daar het zout en het water onderling eene groote affiniteit hebben, maar de vereeniging niet kan plaats hebben dan wanneer zij in vloeibaren toestand zijn, worden deze twee ligchamen gedeeltelijk vloeibaar, en daaruit ontstaat eene temperatuur-verlaging van 17° tot 19° onder nul. De ijsverkoopers maken van dit middel gebruik om ijs te maken.

HOOFDSTUK VII.

VORMING DER DAMPEN, MAAT VAN HUNNE VEERKRACHT.

225. **Dampen, vluchtige vloeistoffen en niet vluchtige vloeistoffen.** Wij hebben reeds gezien dat men *dampen* luchtvormige vloeistoffen noemt, waarin de vochten door de warmte worden veranderd (zie 184). Zij zijn doorgaans ongekleurd en onzichtbaar, als de lucht, en hebben eene *uitzettingskracht* of *spanning*, die bij eene genoegzame verhooging van temperatuur aanmerkelijk kan worden en even groot als die der gassen. In de natuur is het getal dampen zeer beperkt; men treft zelfs alleen den waterdamp in groote hoeveelheden aan; deze *altijd* overvloedig in de atmospheer verspreid, en de eenige,

dien de natuurkundigen geheel hebben bestudeerd, wegens de belangrijke rol, die hij in een groot aantal verschijnselen speelt.

Wat betreft de eigenschap om dampen af te geven, verdeelen de vloeistoffen zich in twee klassen: de *vluchtige* en de *niet vluchtige* vloeistoffen. De eerste zijn zij, die eene natuurlijke neiging hebben om zich in damp te veranderen, zelfs op de gewone temperatuur of lagere temperaturen, zoo als iedereen heeft kunnen opmerken wat het water, den wijngeest, den aether, de chloroform betreft, dat vloeistoffen zijn, die snel verdwijnen als men ze in open vaten aan de lucht blootgesteld laat. Dit heeft ook plaats bij eene talrijke soort van vloeistoffen, bekend onder den naam van *essences* en *vluchtige oliën*, waartoe de essences van terpentijn, van lavendel, van rozen, van oranjebloesems behooren.

De niet vluchtige vloeistoffen, integendeel, zijn die, welke op geene temperatuur damp geven: dat zijn de vette oliën, als die van olijven, visschen enz. Zeer sterk verwarmd zijnde, worden deze oliën ontbonden, terwijl zij in gasachtige bestanddeelen overgaan, die zich losmaken: maar zij geven geen dampen af van denzelfden aard, als zij zelve. Er zijn wel enkele bekend onder den naam van *droogende oliën*, die dit worden wanneer zij met de lucht in aanraking zijn. Maar dit geschiedt door het absorbeeren van zuurstof uit de lucht, en niet door verdamping.

Sommige stoffen geven dampen af, zelfs in den vasten toestand. Het bevroren water geeft er ons een voorbeeld van, zoo als men het in drooge en koude winters opmerkt. Dan verdwijnen het ijs en de sneeuw, over de velden verspreid, eindelijk geheel zonder gesmolten te zijn. Bij de kamfer, en in het algemeen bij de ligchamen die rieken, komt hetzelfde verschijnsel voor, want de reuk moet zonder twijfel worden toegeschreven aan uitwasemingen der stof, die te vergelijken zijn met uiterst fijne dampen.

226. **Langzame vorming der dampen wanneer zij samengedrukt zijn.** De dampen, die op de oppervlakte van eene vloeistof gevormd worden, maken er zich van los door hunne veerkracht; maar deze kracht is op de gewone temperatuur, over het algemeen, zeer beneden de drukking van den dampkring, en daarom verdampen deze vloeistoffen, aan de lucht blootgesteld, slechts zeer langzaam.

De volgende proef doet de veerkracht der dampen, en ter zelfder tijd hunne langzame vorming zien, wanneer zij samengedrukt zijn. Men heeft eene glazen buis, als een hevel omgebogen, waarvan het korte einde gesloten is (fig. 173). Dit einde, en een deel van het lange, zijn gevuld met kwik; en in het korte doet men eerst een druppel aether, die door zijne mindere dichtheid naar het hoogste gedeelte klimt, in B. Als men de buis zoo gereed heeft, dompelt men haar in een vat met water van omtrent 45°. Dadelijk ziet men het kwik langzamerhand in het lange klimmen, en dat doet het door de uitzettingskracht van een gas, dat in het deel A B te voorschijn treedt, en dat geheel en al op lucht gelijkt. Dit gas nu, deze luchtvormige vloeistof, is niet anders dan aetherdamp, welks veerkracht niet alleen opweegt tegen de drukking der lucht, die bij C werkt, maar ook tegen de drukking van de kolom kwik, die in de lange buis is, van den top C tot de oppervlakte A. Als men het water van het vat verkoelt, of als men er de buis uit terugtrekt, wat op het zelfde neerkomt, klimt het kwik langzamerhand in het korte gedeelte, en het druppeltje aether dat gedeeltelijk was verdwenen, vormt zich op nieuw. Als men integendeel het water, waarin men de buis dompelt, meer verwarmt, daalt het kwik meer in het korte gedeelte. Dit toont aan dat de spanning van den damp met de temperatuur toeneemt, eene vermeerdering, die zich in het oneindige blijft vertoonen.

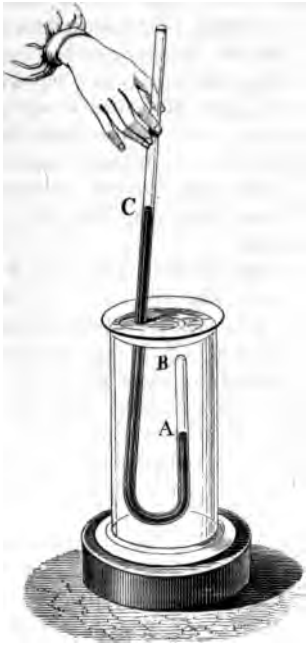


Fig. 173. Langzame vorming der dampen.

Deze spanning, die de dampen op eene hooge temperatuur verkrijgen, doet dikwijls de stoomketels der stoomwerktuigen springen, en veroorzaakt zoo vreeselijke rampen. Als het hout in het vuur knapt, is dit een gevolg van de spanning der dampen en der gassen, die zich in de poriën van het hout gedurende de verbranding vormen. Als men kastanjes kruist om ze onder de asch of in een kagchel, die van gaten voorzien is, te laten braden, gebeurt dit, om den damp, die door het water, dat in de vrucht besloten is, veroorzaakt wordt, te laten ontsnappen. Zonder deze voorzorg, krijgt de damp, die door de schil teruggehouden wordt, eene spanning, die de kastanje kan doen springen en de stukken daarvan ver wegwerpen.

227. **Oogenblikkelijke dampvorming in het luchtledig.** Wij hebben zoo even gezien dat de dampvorming door de drukking van de lucht wordt vertraagd. Zoo is het niet meer in het luchtledig. De veerkracht der dampen ontmoet dan geen tegenstand, en hunne vorming geschiedt dan oogenblikkelijk. Om dit aan te toonen neemt men verscheidene barometerbuizen, die men met kwik vult, en die men naast elkander in een zelfde bakje, met kwik gevuld, dompelt; zooals fig. 174 het doet zien. Vervolgens houdt men ééne buis, de buis A bij voorbeeld, in den gewonen toestand van een barometer, d. i. zóó dat zij niet anders dan kwik bevat, men doet eenige druppels water in de buis B, eenige druppels alkohol in de buis C en eindelijk eenige druppels aether in de buis D. Nu merkt men op het oogenblik zelf, waarop in ieder dezer buizen de vloeistof in het barometrisch luchtledig komt, dat de oppervlakte van het kwik daalt, zoo als de figuur het doet zien. Nu is het niet het gewicht van de vloeistof, die er in gedaan is, dat het kwik neerdrukt, want dat gewicht is slechts een zeer klein gedeelte van het gewicht van het verplaatste kwik. Bij iedere vloeistof is er dus oogenblikkelijk damp ontstaan, welks veerkracht de kwikkolom terug heeft gedrukt; en daar de nederdrukking grooter is in de buis D, dan in de buis C, en grooter in deze dan in de buis B, maakt men er uit op, dat bij gelijke temperatuur de veerkracht van aetherdamp grooter is dan die van alkoholdamp, en dat de veerkracht van deze laatste grooter is dan die van waterdamp.

Door de nederdrukking door middel van eene schaal, die in

millimeters afgedeeld en tusschen de buizen geplaatst meten, vindt men dat op 20° de veerkracht van aethe 25 malen en die van alkohol bijna 4 malen grooter is die van waterdamp.

228. **Grens van de vorming en spanning der dampen, digde ruimte.** De hoeveelheid damp, die gevormd kan w in eene gegeven ruimte, het zij op de gewone temperatu zij op eene hoogere, is altijd begrensd. Bij voorbeeld bij d onder afgeteekende proef (fig. 174) houdt de nederdru van het kwik, die heeft in ieder de zen B, C en D op door gebrel vloeistof, die n dampen kan voor gen, want men c zorg, om in iede zelve genoeg te opdat alles niet dampe. Zoo blijft de buis D nog a echter zou men t geefs maanden en wachten; als de peratuur niet h wordt, zal men het deel aether baar zien blijven buis, en de opper van het kwik sti blijven op de hoogte. Dit toon aan dat er geene n dampen in de bui nen gevormd worden, en te gelijker tijd, dat de veerk van dien, welke er in is, niet vermeerderen kan; dit men uit, door te zeggen, dat deze damp zijn *maximu* spanning heeft bereikt.

Fig. 174. Oogenblikkelijke dampvorming.

Als eene gegevene ruimte zoo al den damp, dien zij l *n kan*, opgenomen heeft, zegt men, dat zij *verzadi*

Bijv. in eene flesch vol drooge lucht giet men een weinig water, en sluit haar daarna hermetisch met eene kurk; een gedeelte van het water zal langzaam in damp overgaan, totdat de veerkracht van den damp in evenwicht is met de kracht van uitzetting van dien, die zich nog tracht af te scheiden; op dit oogenblik houdt alle dampvorming op en de ruimte in de flesch is verzadigd.

229. **De hoeveelheid damp, die eene ledige ruimte, of eene die lucht bevat, verzadigt, is dezelfde.** Een belangrijk feit, dat door verscheidene proeven bevonden is waar te zijn, is, dat op eene gelijke temperatuur de hoeveelheid damp, die tot het verzadigen van eene bepaalde ruimte noodig is, dezelfde is, hetzij de ruimte luchtledig zij, of reeds lucht of een ander gas bevatte. Zoo is, bij de boven aangehaalde flesch, of zij vol lucht of luchtledig zij, het gewicht van het water, dat in damp overgaat, juist hetzelfde; alleen gaat de verdamping in het eerste geval langzaam, in het tweede gaat zij oogenblikkelijk. Maar, bij gelijke ruimte, luchtledig of vol lucht, verandert de hoeveelheid damp, die met de verzadiging overeenstemt, naar de temperatuur. Hoe hooger die is, hoe meer damp dezelfde ruimte bevat, en hoe dichter die bij gevolg is; integendeel, hoe lager de temperatuur is, hoe minder damp er noodig is om eene gegeven ruimte te verzadigen.

De hoeveelheid waterdamp dien de lucht bevat is zeer verschillend; maar niettegenstaande de overvloedige dampvorming, die op de oppervlakte der zeeën, meeren en rivieren plaats heeft, is de lucht in de lage streken van de atmospheer slechts zeer zelden met waterdamp verzadigd, zelfs als het regent. Dit komt daaruit voort dat de waterdamp minder dicht is dan de lucht, en zich dus, naarmate zij gevormd wordt, tot de hooge streken van de atmospheer verheft, van waar zij, door de koude verdicht, later in regen nedervalt. Slechts bij sterke mist kan de lucht geheel met waterdamp verzadigd zijn.

230. **Verdamping, oorzaken die haar versnellen.** Aan de oppervlakte van alle vluchtige vochten, die aan de vrije lucht zijn blootgesteld, heeft voortdurend eene langzame vorming van damp plaats. Het is door deze verdamping dat de oppervlakte van het water in een vol vat langzamerhand daalt, en dat *dit eindelijk geheel* ledig wordt, zoo het niet door

eene bron wordt gevoed. Door dezelfde oorzaak wordt aarde, die door regenbuijen nat is geworden, droog en hard in de lucht, en droogen stoffen aan de lucht uitgespreid spoedig.

Vele oorzaken begunstigen het uitdampen. Deze zijn: de verhooging van temperatuur, de verandering van drukking, de vernieuwing van lucht boven de vloeistof die in damp overgaat, en eindelijk de uitgestrektheid van de oppervlakte, die deze met de lucht in aanraking brengt.

Invloed van de temperatuur. De terugstootende kracht, die de warmte uitoefent tusschen de moleculen der ligchamen, vermeerdert met de temperatuur, dus is het noodzakelijk even zoo gelegen met de hoeveelheid damp die losgemaakt wordt. Deze eigenschap heeft men zich bij de nijverheid ten nutte gemaakt tot het uitdroogen van een groot aantal voortbrengselen, die men uitspreidt in *drooghokken*, d. i. kamers waarvan de temperatuur op 30°, 40°, 50° en zelfs 60° wordt onderhouden, en welker lucht gedurig vernieuwd wordt, om de zich los makende dampen te laten ontsnappen.

Invloed der drukking. Daar wij gezien hebben (zie 226) dat de dampkringsdrukking eene hindernis is voor het losmaken der dampen, begrijpen wij, dat, wanneer deze drukking vermindert, zij zich meer in overvloed vormen moeten. Dit gebeurt dan ook altijd als men vloeistoffen onttrekt aan de drukking der lucht. In de suikeraffinaderijen, bij voorbeeld, sluit men de stroop, om haar te concentreeren, d. i. om haar volume kleiner te maken, door er een deel water dat zij bevat af te trekken, op in groote bolvormige en verwarmde ketels; vervolgens maakt men door middel van eene groote luchtpomp, door een stoommachine bewogen, de lucht in die ketels dunner; dit versnelt de uitdamping van het water aanmerkelijk, en brengt spoedig de stroop op den verlangden graad van concentratie.

Invloed van de vernieuwing van lucht. De vernieuwing van lucht is noodzakelijk, want als dezelfde laag lucht altijd in aanraking bleef met de oppervlakte van de vloeistof, zou zij verzadigd worden en iedere uitdamping zoude onmogelijk zijn (zie 228). Omdat de wind de luchtlagen, die met den grond in aanraking zijn, medeneemt, droogen de plaveisels onzer straten en het slijk op onze wegen spoedig na regen. Om *dezelfde reden* gaat het droogen van buiten gehangen linnen-

ɜd veel sneller in eene bewogene lucht, dan in eene kalme. *Invloed van de uitgestrektheid van de vloeistof.* Hoe uitgeɜider oppervlakte de vloeistof aan de lucht bloot stelt, des meer zijn de punten van welke zich damp loslaat verɜerderd. Bij gevolg moet men, altijd als men eene vloeiɜf wil doen verdampen, haar in groote en niet zeer diepe ten gieten. Dit brengt men in toepassing bij de *zoutputten*, ɜar men het zout, dat in het zeewater opgelost is, er uittrekt. ɜn laat het zeewater op breede en niet zeer diep gelegen *eren* loopen, welke men in den grond uitgegraven heeft. ɜar dampt het water, onder den invloed der zonnewarmte, ɜgzaam uit, en als zijne concentratie zoover gekomen is, ɜt het zout afzet, ziet men het op zijne oppervlakte kristaleeren, eene vaste korst vormende, die men breekt en opmelt.

231. **Koking.** De *koking* is eene snelle losmaking van ɜmpen, die zich in het midden zelf der van onderen verarmde vloeistoffen vormen, terwijl de verdamping slechts ɜaats heeft aan de oppervlakte.

Wanneer men water warm maakt worden de bellen, die ɜt eerst verschijnen, door de lucht veroorzaakt, die in de loeistof opgelost was, en die er uit ontsnapt, door haar eerkracht. Spoedig maken zich dampbelletjes los van de ɜarmste lagen van de vloeistof, ontmoeten eerst minder warme ɜgen, dan die waarin zij ontstaan zijn, en worden daar verɜicht alvorens zij de oppervlakte bereiken; en die vorming n verdichting van damp, die elkander opvolgen, zijn de oorɜaak van de trilling die de koking voorafgaat. Als de bovenste ɜgen van de vloeistof eene vrij hooge temperatuur bereikt ɜebben, verdichten de dampbelletjes zich niet meer, zij komen ɜan op de oppervlakte en barsten terwijl zij de geheele massa vater in beweging brengen; dit vormt het verschijnsel van ɜet koken (zie fig. 175).

232. **Wetten der koking.** Het koken geschiedt altijd volɜens de twee volgende wetten:

1°. *Bij de gewone drukking*, d. i. wanneer de barometerhoogte 76 centimeters is, *begint elk ligchaam op eene bepaalde en ɜan hetzelve eigene temperatuur te koken; deze temperatuur is bij ɜerschillende ligchamen verschillend.* Bij voorbeeld aether kookt op 37°, alkohol op 79°, gedestilleerd water op 100°

gevallen begint een ligchaam niet te koken [illegible] blik, dat zijn damp eene spanning verkrijgt [illegible] drukking, die hij ondergaat.

2° *De temperatuur verandert* [illegible] Bij voorbeeld, gedestilleerd water kookt [illegible]

[illegible] dampvormigen toestand [illegible] den naam van *gebonden* [illegible] *stoomvorming* de warmte [illegible] verdwijnt (zie 236).

[illegible] *drukking van ééne* [illegible]

[illegible]	Gedestilleerd water. . . .
[illegible]	Terpentijngeest . . . . .
[illegible]	Zwavelzuur . . . . .
[illegible]	Kwikzilver . . . . .

3. **Oorzaken der verandering van temperatuur van het koken.** emperatuur van het koken verschilt, bij eene zelfde vloei- naar de stoffen, die in die vloeistof opgelost zijn, naar eer of minder sterke drukking, waar zij aan onderhevig n eindelijk naar den aard der vaten, waarin de koking s heeft.

loed der stoffen, die opgelost zijn. De stoffen die in eene stof opgelost zijn verhoogen gewoonlijk hare temperatuur koking, zoo deze stoffen ten minste zelf niet vluchtiger zijn de vloeistof; zoo kookt het water op 100°, wanneer het

Fig. 176. Koking in het luchtledig.

r is, en op 109° wanneer het verzadigd is met zeezout, wanneer het van dat zout, al hetgeen het er van op- n kan, *heeft opgelost.* De vette stoffen bij het water ge-

voegd, verhoogen er ook de temperatuur van koking van daarom brandt kokende vette bouillon sterker dan water.

Invloed van de drukking. Eene oorzaak die de kokingstemperatuur zeer wijzigt, is de drukking, die op de vloeistoplaats heeft. Hoe sterker deze is, hoe grootere spanning damp noodig heeft, om zich los te maken, en hoe hooger dus de temperatuur moet zijn. Integendeel, hoe zwakker de drukking is, op hoe lagere temperatuur de koking plaats vindt.

Het water begint zelfs op de gewone temperatuur te koken als men het aan den luchtdruk onttrekt. Hiertoe neemt men de proef zoo als in fig. 176 afgeteekend is. Een glazen beker is onder de klok van de luchtpomp geplaatst; of liever, opdat de proef te zien zij voor een grooter aantal toeschouwers plaatst men de klok op eene beweegbare plaat, die op een tafel bevestigd is en met de luchtpomp in verband staat door eene buis van caoutchouc. Nu ziet men, zoodra het lucht ledig gevormd, of ten minste de lucht zeer verdund is, het water met groote kracht koken; hiervan is eene sterke dampvorming het teeken. Deze koking nu is niet vergezeld van eene verhooging in temperatuur; integendeel, zij is de oorzaak van eene aanmerkelijke afkoeling, wegens de warmte welke de dampen in gebonden toestand absorbeeren, om zich te kunnen vormen (zie 236). Men toont de gemakkelijkheid, waarmede de dampen, bij afwezigheid van alle drukking, beginnen te koken, nog aan door middel van een klein toestel van Franklin, dat men het *kookwerktuigje van Franklin* noemt, omdat wij het aan dien beroemden natuurkundige verschuldigd zijn. Het is eene glazen buis, die tweemaal omgebogen is; aan het eene einde is een glazen bol gesmolten, dien men in de hand houdt; aan het andere een wijdere buis, die in een punt eindigt (fig. 177). Voor dat het toestel gesloten wordt, doet men er water in, hetwelk men vervolgens eenigen tijd lang kookt, door de bol boven de vlam der alkohollamp te verhitten. Als men oordeelt, dat de dampen, die zich losmaken, al de lucht, die in de buizen was, hebben medegenomen, sluit men de fijne punt, door haar boven de vlam van eene blaaslamp te smelten, welker temperatuur zeer hoog is. Er is dan in het toestel geene andere drukking dan die van den *damp,* die er de ruimte van vult; deze drukkig is zeer *zwak op de* gewone temperatuur. Daardoor komt het, dat,

er men den bol in de hand neemt, zoo als de figuur
nwijst, de zoo aan het water overgebrachte warmte ge-
s om het te doen koken.
.r de luchtdrukking vermindert naarmate men zich in den

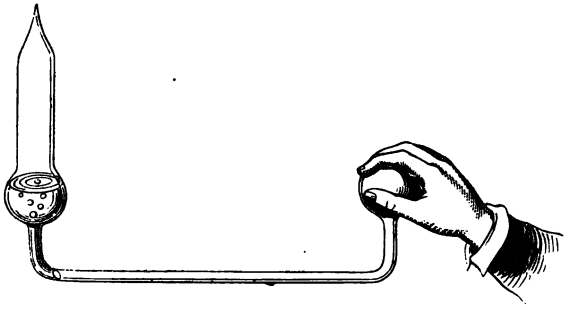


Fig. 177. Kookwerktuig van Franklin.

pkring verheft, begrijpt men, na hetgeen gezegd is, dat
hooge bergen het water gemakkelijker koken moet, dan
gelijke hoogte met de zeeën. Dit heeft men dan ook door
ondervinding bevestigd gezien; op den Mont-Blanc bijv.
kt het water op 84°. Het is duidelijk, dat dit bij het
:en der spijzen hindert; want groenten en vruchten kunnen
t even goed gaar worden in water van 84°, als in dat
ı 100°.
Bij de diepe mijnen, zoo als in die waaruit men in Enge-
ıd en in België de steenkolen haalt, heeft het omgekeerde
ıats; daar de drukking toeneemt met de diepte, kookt het
ıter bij eene hoogere temperatuur dan 100°.
Invloed van den aard der vaten. De stof der vaten, waarin
ɜn water laat koken, kan ook zijne temperatuur van koking
ijzigen. Zoo kookt gedestilleerd water, wanneer de barometer-
ɔogte 76 centimeters is, in een metalen vat slechts op 100°.
ı een glazen vat kookt het eerst op 101° of 102° en zelfs
p hoogere temperatuur; dit wordt veroorzaakt door de aan-
leving van het water en het glas. Om dezen invloed der
aten te vermijden bij de graadverdeeling der thermometers,
ɜpaalt men altijd het hoogste vaste punt van de schaal door

den bol van den thermometer in den *damp* van het kokende water te houden, welke altijd juist 100° heet is.

234. **Papiniaansche pot.** Al wat tot hiertoe over de vorming der dampen gezegd is, is toepasselijk op de vloeistoffen, die in een open vat verwarmd worden. Alleen in dat geval kan er koking plaats hebben; want daar bij een gesloten vat de dampen zich niet in de buitenlucht kunnen verspreiden, groeijen hunne spanning en dichtheid aan met de temperatuur; maar de snelle loslating, die maakt dat er koking plaats heeft, is onmogelijk. Ook is er nog dit onderscheid tusschen de verwarming van een vloeistof in een open vat en hare verwarming in een gesloten vat, dat, in het eerste geval, de temperatuur der vloeistof, die van de koking niet kan overtreffen, terwijl zij in een gesloten vat, om zoo te zeggen, in het oneindige kan toenemen. Bij voorbeeld in een geopend vat en bij de drukking van de atmospheer, heeft men gezien (zie 232) dat het water niet hooger verwarmd kan worden, dan 100°, daar alle warmte, die men er aan mededeelt in den gebonden toestand, geabsorbeerd wordt door de zich losmakende dampen. Maar daar dat losmaken niet meer plaats heeft in een gesloten vat, kunnen het water en de damp eene veel hoogere temperatuur dan 100° verkrijgen. Doch dit is niet zonder gevaar, wegens de groote spanning die de damp dan krijgt.

Figuur 178 stelt het toestel voor, waarvan men bij de lessen over natuurkunde gebruik maakt, om het water op meer dan 100° te verwarmen in een gesloten vat. Dit toestel is bekend onder den naam van *Papiniaansche pot*, omdat men het aan *Papin*, fransch geneesheer, in 1710 gestorven, verschuldigd is. Het bestaat uit een cylindrisch bronzen vat M, van één à twee liters inhoud, en is hermetisch gesloten door een deksel, dat neergedrukt wordt door eene schroef. Dit vat vult men tot ongeveer op de helft met water, plaatst het op een fornuis en maakt het warm. De temperatuur der vloeistof kan dan die der koking ver te boven gaan, en de spanning van den damp verhoogt zich tot verscheidene atmospheren. Opdat echter deze spanning niet zoo ver ga, dat zij het vat doet springen, heeft Papin aan zijn toestel een veiligheidsklep toegevoegd, bestemd om aan ımp een uitweg te geven, als hij eene spanning bereikt *die* men niet zonder gevaar overschrijden zou.

Het samenstel van deze klep bestaat uit een hefboom *a b*, e met een last *p* bezwaard is, welken men langs den hefboom rschuiven kan. De drukking door dit gewicht uitgeoefend wordt overgebracht op een kleinen metalen stop, die in een buis *u* past en er het onderste deel, waarin een gat is gemaakt, van sluit.

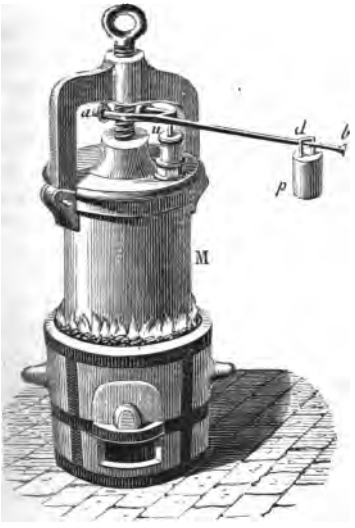


Fig. 178. Papiniaansche pot.

Nu heeft de spanning van den damp de neiging om den kleinen metalen stop, die in de buis *u* is, op te ligten, terwijl het gewicht *p* van boven naar beneden drukt om hem te sluiten. Er blijft dus over om den last te bepalen, door den hefboom zoo uitgeoefend, dat de stop niet opgeligt worde, of ten minste slechts bij eene bepaalde spanning, van 6 atmospheren bij voorbeeld. Men weet nu, dat de drukking, door het gewicht *p* op het onderste deel van de buis *u* itgeoefend, grooter zal zijn naarmate de hefboomsarm *a d* zelf rooter is (zie 35); bij gevolg is er alles aan gelegen, dat et gewicht *p* op zulk een afstand van het punt *a* geplaatst orde, dat het in *u* eene drukking van 5 atmospheren uitefent. Deze, gevoegd bij het gewicht van de atmospheer, ien de stop draagt, zal eene totale drukking van 6 atmosneren geven, welke grens de veerkracht van den damp niet ıl kunnen te boven gaan, daar de damp dadelijk zal ontıappen, als de hefboom opgeligt is.

Als de Papiniaansche pot genoegzaam verwarmd is en men e klep opent, komt er dadelijk eene groote hoeveelheid stoom it, en verheft zich met een gefluit, dat ons eenig denkbeeld an de spanning geeft, in de hoogte; dan koelt het water af ot 100° en er is niet meer dan gewone koking overgebleven.

Het toestel, dat wij beschreven hebben, wordt ook *digestor* van Papin genoemd, naar een latijnsch woord, dat *oplossen* beteekent, omdat de hooge temperatuur, die het water in de Papiniaansche pot kan aannemen, zijne oplossende kracht zeer vermeerdert. Bij voorbeeld men heeft den digestor gebruikt om uit de beenderen de stof te trekken, in den handel onder den naam van *gelatine* bekend, welke men vroeger dacht dat tot voedingsmiddel zou kunnen dienen.

Uit de ontzettende uitspanning welke de damp kan krijgen in een gesloten vat, kan men afleiden hoe belangrijk het is, vaten, waarin men water kookt voor huiselijk gebruik, niet hermetisch te sluiten. Bij voorbeeld men moet de kruiken vol water, die bestemd zijn om de voeten der zieken te verwarmen, openen wanneer men ze voor het vuur zet om ze te warmen; anders kan de kruik springen, of zou ten minste de stop ver weggeworpen worden, met uitstorting van warm water; dit zou belangrijke ongevallen kunnen veroorzaken. Zoo ook is het noodig als eene locomotief ophoudt, den damp te laten ontsnappen, want anders zou deze terwijl hij voortgingt met zich in den ketel te vormen, zonder gebruikt te worden om de machine te doen loopen, eindelijk zulk eene spanning krijgen, dat er eene ontploffing uit voort zou komen.

235. **Maat van de veerkracht van waterdamp.** Dalton, een gelsch natuurkundige, gestorven in 1844, heeft de spanning van waterdamp, van graad tot graad van nul tot 100° gemeten, door middel van het toestel in fig. 179 afgeteekend. Twee kwik bevattende barometerbuizen A en B zijn in een vat, vol van dezelfde vloeistof, gedompeld. De barometer A is een gewone barometer, geheel van lucht en vochtigheid ontdaan; maar in den barometer B heeft men boven de kwik kolom een weinig water gedaan, dat, wanneer het in damp overgaat, het kwik nederdrukt.

Deze twee barometers worden in een grooten glazen cilinder vastgemaakt, die met water gevuld is, en waarin men eenen thermometer *t* dompelt, die bestemd is om er de temperatuur van te doen kennen. Nu begint men langzamerhand het geheele toestel, dat zoo als de fig. aanwijst op een fornuis geplaatst is, te verwarmen; naarmate nu de temperatuur hooger wordt, ziet men het kwik in den barometer B langzaam *dalen*; dit bewijst, dat het water, dat men er in heeft

daan, dampen geeft, waarvan de spanning grooter wordt
:t de verhooging van temperatuur. Het verschil van de
ogte der oppervlakte bij de twee barometers wijst deze span-
ng aan. Bij voorbeeld, indien het kwik, wanneer de ther-
mometer 70° teekent, 233 millimeters lager is in den barometer B, dan in den barometer A — en dit kan men zien door middel van eene schaal, die langs het cilindrische glas is aangebracht, — bewijst dit, dat op 70° de spanning van den waterdamp 233 millimeters is. Dit wil zeggen, dat hij op de wanden van het vat, waarin hij besloten is, eene drukking uitoefent, gelijk aan het gewicht van eene kwikkolom van 233 millimeters hoogte.

Fig. 179. Buis van Dalton.

Op deze wijze van graad tot graad de nederdrukking van het kwik in den barometer B opteekenende, heeft Dalton de veerkracht van den waterdamp van 0° tot 100° bepaald. Op deze laatste tenperatuur heeft hij gevonden, dat de veerkracht van dien damp 760 millimeters of 76 centimeters, d. i. ééne atmospheer is.
eze gevolgtrekking komt overeen met hetgeen wij gezegd
ıbben toen wij over het koken spraken (zie 232).
Sedert de proef van Dalton hebben twee fransche na-
urkundigen, Dulong en Arago, naar eene andere methode,
spanning van den waterdamp gemeten boven 100°, tot
n 24 atmospheren drukking. Eindelijk heeft later nog
ıgnault die *spanning ook* gemeten onder en boven 100°,

en naar hetgeen deze laatste geleerde heeft bekend gemaakt, is de volgende tabel samengesteld, in welke de spanning bij verschillende temperaturen gemeten wordt door de hoogte in millimeters van eene kwikkolom, waarmede zij evenwicht maakt.

Tabel van de spanning van den waterdamp van 0 tot 160 graden.

TEMPERATUUR.	SPANNING IN MILLIMETERS.	TEMPERATUUR.	SPANNING IN MILLIMETERS.
0	4.600	60	148.791
10	9.165	70	233.093
20	17.391	80	354.643
30	31.548	90	525.450
40	54.906	100	760.000
50	91.982	160	4580.000

Deze tabel toont aan, dat de spankracht van den waterdamp sneller klimt dan de temperatuur. Op 50° bijv. is de spanning nog slechts gelijk aan 91.9 millimeters en op 100°, dat is eene tweemaal zoo hooge temperatuur, is de spanning gelijk aan 760 millimeters, dat is meer dan achtmaal grooter.

236. **Gebonden warmte der dampen.** Wij hebben bij de behandeling van het koken (zie 232) gezien dat van het oogenblik af, dat eene vloeistof begint te koken, hare temperatuur ophoudt hooger te worden, hoe groot ook de toevoer der warmte zij. Daar nu de damp, die zich dan losmaakt, op dezelfde temperatuur is als de vloeistof, trekt men daaruit het gevolg dat de warmte door de vloeistof geabsorbeerd wordt en geheel en al gebruikt, om haar in damp te doen overgaan.

Daarom noemt men deze hoeveelheid warmte *gebonden warmte der verdamping* of *verdampingswarmte*, gelijk men ook de gedurende de smelting geabsorbeerde warmte *smeltingswarmte* genoemd heeft.

Men heeft door proeven bevestigd gevonden, dat de gebonden warmte van water 540 is; dat is, dat een kilogram water van 100°, dat verdampt, om een kilogram damp, ook *van 100° te* geven, alleen om van toestand te veranderen,

de hoeveelheid warmte absorbeert, die noodzakelijk is, om 540 kilogrammen water van 0° tot op 1° te brengen.

237. **Voorbeelden van koude, veroorzaakt door het absorbeeren van warmte in den gebonden toestand.** De hoeveelheid warmte, die in den gebonden toestand overgaat gedurende de dampvorming, kan de oorzaak worden van eene zeer sterke koude. Als men eenige druppels aether op de hand giet, en deze in de lucht heen en weder beweegt, om de verdamping te bespoedigen, voelt men eene zeer sterke koude, die veroorzaakt wordt door de aether-dampen, die gevormd worden. Met minder vluchtige vloeistoffen dan aether, zoo als alkohol, water, heeft dezelfde verkoeling plaats, maar minder sterk.

Als men uit het bad komt, vooral als het een bad in de open lucht is en als het waait, voelt men een zeer nijpende koude, die veroorzaakt wordt door de dampen, die over het geheele ligchaam gevormd worden. Het natte linnengoed is koud, omdat het water warmte van het ligchaam opneemt om te kunnen verdampen.

Ofschoon de wind in den zomer warm is, verfrischt hij ons, omdat hij de verdamping van het zweet bevordert. De frischheid, veroorzaakt door het nat maken der straten, is ook een gevolg van de uitdamping. Door dezelfde oorzaak volgt doorgaans eene daling van temperatuur op regen.

De Spanjaarden laten het water, om het frisscher te maken, in zeer poreuse vaten van gebakken onverglaasd aardewerk staan, die de vloeistof zeer langzaam laten doorzijpelen door de poriën. Door deze vaten, welke men *alcarazzas* noemt, in een luchtstroom te plaatsen, die de verdamping van buiten versnelt, wordt het vat koeler en met hetzelve het water, dat het bevat. Men verkrijgt een dergelijk gevolg door een flesch, met water gevuld, te omwinden met een servet dat nat gemaakt is, en door ze dan in een luchtstroom te zetten.

238. **Bevriezen van water en kwik in het luchtledig.** Uit de groote hoeveelheid warmte, die in den gebonden toestand verdwijnt, als eene vloeistof verdampt, kan men besluiten, dat men daar, waar men de verdamping bevordert, eene oorzaak van zeer sterke verkoeling heeft. Nu hebben wij gezien (zie 233) dat de vloeistoffen des te sneller in damp overgaan, *naarmate de drukking* zwakker is. Bij gevolg zal een

[illegible] met regte [illegible] [illegible] zeer [illegible]

[illegible] om in die wijze water in [illegible] [illegible] te doen, [illegible] [illegible] 180) onder [illegible] van de hechtpunt [illegible] van metaal A. [illegible] [illegible] en van eene groote [illegible] [illegible] of onder [illegible] [illegible] meer [illegible] [illegible] vloeistof, die [illegible] [illegible] heeft [illegible] [illegible] is [illegible] [illegible] te [illegible]. Zoodra [illegible] [illegible] begint [illegible] [illegible] begint het water [illegible] [illegible] [illegible]

HOOFDSTUK VIII.

HET VLOEIBAAR WORDEN DER DAMPEN EN DER GASSEN, SPECIFIEKE WARMTE.

239. **Oorzaken die de verdichting der dampen bepalen.** De *verdichting of het druipend vloeibaar worden*, de *condensatie* der dampen is hun terugkeer van den luchtvormigen in den vloeibaren toestand. Vele oorzaken kunnen de verdichting der dampen bepalen, als: de chemische affiniteit, overmaat van drukking en de verkoeling.

Verdichting door chemische affiniteit. De affiniteit van sommige stoffen met het water is genoeg om den waterdamp, die in de atmospheer is, te verdichten, ook dan zelfs, als die verre af is van verzadigd te zijn. Als men stoffen, die gemakkelijk water opnemen, aan de lucht blootstelt, als: ongebluschte kalk, potasch, zwavelzuur, absorbeeren die altijd waterdamp.

Verdichting door drukking. Stellen wij ons een gesloten vat met damp gevuld voor, bij voorbeeld een cilinder, en in dien cilinder een zuiger, dien men naar willekeur indrukt, gelijk aan dien in fig. 4, bladz. 13. Als deze zuiger dieper in dien cilinder dringt, drukt hij den damp samen, maar deze begint niet druipend vloeibaar te worden, vóór het oogenblik waarop hij in den toestand van verzadiging (zie 228) is gekomen; zoolang hij niet verzadigd is, handelt hij als een wezenlijk gas, en de drukking vermeerdert slechts zijne dichtheid en spanning, zonder hem vloeibaar te maken. Daar nu, naarmate de zuiger dieper gaat, het volume van den damp hoe langer hoe kleiner wordt, komt er een oogenblik, waarop dit volume juist de hoeveelheid damp bevat, die noodig is om het te verzadigen. Van dit oogenblik af aan doet de ligtste vermeerdering van drukking een deel van den damp in den vloeibaren toestand overgaan, en het vloeibaar maken gaat voort, zoolang de overmaat van drukking duurt, zoodat, wanneer de zuiger tot aan het einde van den cilinder komt, al de damp verdicht is. Bij deze proef moet opgemerkt worden, dat als eens de verzadiging bereikt is, indien er geene lucht in den cilinder is, de wederstand tegen het indrukken van den zuiger, niet meer vermeerdert naarmate hij dieper gaat. Dit vloeit voort uit de verdichting *van den damp*, en bevestigt hetgeen wij vroeger

gezien hebben over het maximum der spanning van dampen, in den toestand van verzadiging (zie 228).

Verdichting door verkoeling. De verkoeling, evenals de drukking, doet de dampen niet overgaan in den vloeibaren toestand dan wanneer zij verzadigd zijn. Maar, wanneer eens eene ruimte verzadigd is, wordt de affiniteit der moleculen onderling overwegend, daar de geringste verlaging van temperatuur de warmte ontneemt, die hen in dien toestand onderhoudt; zij naderen elkander in zeer kleine druppels en drijven in de lucht, of zetten zich op omringende ligchamen neder.

In de meest gewone gevallen worden de dampen verdicht door afkoeling. Bij voorbeeld zij die worden uitgeademd uit den mond en de neusgaten der dieren, verzadigen eerst de koudere lucht, te midden waarvan zij zich losmaken. Vervolgens worden zij verdicht, terwijl zij op eene wolk gelijken. Door hetzelfde verschijnsel worden de dampen, die zich van kokend water afscheiden, die welke zich boven de schoorsteenen verheffen en de mist boven de rivieren, zichtbaar. Al deze dampen zijn meer zichtbaar in den winter dan in den zomer, omdat hoe kouder de lucht, hoe volmaakter de verdichting is.

Gedurende koud weder ziet men in de verwarmde vertrekken de glasruiten met eene afzetting van dauw overdekt. De lucht der vertrekken nu is gewoonlijk verre van met damp verzadigd te zijn, maar de lagen lucht, die met de ramen in aanraking zijn, worden kouder; en daar de hoeveelheid damp, die noodzakelijk is om eene gegevene ruimte te verzadigen, des te kleiner is, naarmate die ruimte kouder is, komt er een oogenblik waarop de lagen, zoo in aanraking met de glazen, verzadigd zijn, en dadelijk zetten zich nu de dampen, die zij bevatten, af. Bij dooi weder, als de lucht warmer van buiten is dan van binnen, zet de damp zich aan de buitenzijde af. Om dezelfde reden ziet men dan de muren met eene laag vochtigheid overvloedig bedekt; dit drukt men uit door te zeggen dat zij *zweeten*; deze uitdrukking is oneigenaardig, want dit water komt niet uit de muren, maar uit de atmospheer. Omdat de muren kouder zijn dan de lucht, verlagen zij de temperatuur der lagen, die met hen in aanraking zijn, en verdichten er de dampen van.

Een gelijk verschijnsel eindelijk is er in den zomer, wan-

eene flesch welke men uit den kelder haalt, eene karaf nen met koud water vult, bedekt worden met eene afzetting. Hetzelfde verschijnsel heeft niet plaats in den r, omdat de temperatuur van de atmospheer dan gelijk n die van de flesch en van de karaf of lager, en er geene verkoeling plaats heeft van de luchtlagen, die er in aanraking zijn.

0. **Gedurende de verdichting losgemaakte warmte.** Wij en gezien dat iedere vloeistof, die in damp overgaat, groote hoeveelheid warmte in den gebonden toestand rbeert. De warmte nu, die zoo gedurende de dampvor- verdwijnt, is niet vernietigd; want in het omgekeerde l verschijnt zij weder in den *waarneembaren* toestand, d. i. staat om op onze zintuigen en op den thermometer te ken. Bijv. men weet dat een kilogram water op 100° om lamp over te gaan 540 warmte-eenheden absorbeert (zie), d. i. de hoeveelheid warmte die noodig is om 540 grammen water van 0° tot 1° te verwarmen; omgekeerd t 1 kilogram damp op 100°, die vloeibaar wordende kilogram water geeft ook op 100°, 540 warmte-eenheden rgaan van den gebonden in den waarneembaren toestand. ze warmte gebruikt men op de volgende wijze.

241. **Verwarming met damp.** De hoeveelheid warmte, die der vrij wordt op het oogenblik van de verdichting van wadamp, wordt in de nijverheid gebruikt voor de verwarming n particuliere huizen, broeikasten en publieke gebouwen. en maakt damp in ketels, gelijkende op die van de stoomchine; van daar gaat de damp in koperen buizen, verborn achter behangsels of in kolommen die te gelijker tijd tot rsiering der vertrekken dienen. Door zich in deze buizen verdichten, geeft de damp haar eene groote warmte, die vervolgens aan de omringende lucht mededeelen.

242. **Destillatie, destilleerketels.** De *destillatie* is eene werking, waardoor men eene vluchtige vloeistof van de offen afscheidt, die er in opgelost zijn, of wel twee ongek vluchtige vloeistoffen van elkander. Deze bewerking bestaat erin dat men door de werking der warmte de vloeistof, die en wil afscheiden, doet verdampen, en vervolgens de damen verdicht, door ze te verkoelen.

De estellen die tot de destillatie dienen, noemt men *de-*

Fig. 181. Destilleerketel.

men rivier- of putwater destilleert, schei
altijd vele zoutdeelen bevat, welke zij uit
zich er van af door de destillatie: en me
zuiver water.

Door destillatie [illegible] de verschill
brandewijn. Wan[illegible] wijn, die

i, water, eene kleurstof en verschillende andere niet ge stoffen, in een destilleerketel op eene temperatuur n 78° en 100° verwarmt, wordt de alkohol, die op okt, damp, terwijl het water, dat eerst op 100° kookt, it, of ten minste slechts in eene kleine hoeveelheid pt. De vloeistof, die zoo bij de verdichting der damtstaat, verzamelende, heeft men gewonen brandewijn, 't anders is dan een mengsel van alkohol en water. nde de verdichting der dampen in de slang gaat eene hoeveelheid warmte van den gebonden in den waar-'en toestand over, en dus heeft het water van de ne neiging om dadelijk warm te worden; dit zou einiet de verdichting te doen ophouden, Om aan deze 'kheid te gemoet te komen, wordt een bak met koud boven de kuip geplaatst. Van dezen bak wordt het aar het laagste gedeelte van de kuip gevoerd, terwijl 'me water, minder dicht, naar het bovenste gedeelte anwaar het door eene tweede buis wegloopt, die het grond voert.

Vloeibaarmaking der gassen. De gassen, die vergelemnen worden met dampen, die zeer ver van hunnen n verzadiging af zijn, kunnen als deze vloeibaar georden. Ten minste, zoo als men reeds heeft gezien zijn de meesten het geweest, en het is wel waardat die, welke nog niet in den vloeibaren toestand nnen worden gebracht, het wel zouden kunnen worden in slaagde, om ze te onderwerpen aan eene drukking ene koude, die vrij aanzienlijk zouden moeten zijn. kwaardigste proef over de vloeibaarmaking der gas- welke door Thilorier gedaan is om het koolzuurnen vloeibaren en vasten toestand te brengen. Deze des te merkwaardiger, daar juist het gas, door zijne gskracht, zich zelf samendrukt naarmate het voorgeordt. Het toestel, waarin men koolzuur gereed maakt, uit twee cilinders van gegoten ijzer die 5 à 6 liters en zeer dikke wanden hebben. Deze twee cilinders, die h sluiten, staan met elkaar in verbinding door eene is. In één der cilinders die de *generator* is, zijn die geschikt zijn om eene afscheiding van koolzuur ken, gewoonlijk bicarbonas sodae en zwavelzu-

In den tweeden cilinder, die de *recipiënt* is, is niets: daarheen gaat het gas en drukt zich samen tot dat het vloeibaar is. Men heeft zoo tot twee kan vloeibaar koolzuur gemaakt.

Op eene temperatuur van 15° is de spanning van de gassen in de cilinders 50 atmospheren, eene ontzettende drukking die het toestel kan doen springen, als het niet zeer stevig gemaakt is; dit is op 30 Dec. 1840 te Parijs in de Ecole de Pharmacie gebeurd, waarbij de bereider, Osmin Hervy, zoodanige vreeselijke wonden bekwam, dat hij 4 dagen later aan de gevolgen overleed.

Om het koolzuur in vasten toestand te krijgen is de cilinder, die tot recipiënt dient, voorzien van eene kraan waaraan eene buis is vastgemaakt, die in het vloeibare zuur gedompeld is. Wanneer men deze kraan opent springt het koolzure vocht, door de drukking geperst, met kracht te voorschijn; maar daar dan de druk van 50 atmospheren in dien van eene enkele overgaat, verdampt een groot gedeelte van het vocht, en de gebonden warmte. door deze verandering van toestand geabsorbeerd, is zoo aanmerkelijk, dat een gedeelte van het vloeibare zuur door de afkoeling vast wordt en door den stroom van het gas in witte vlokken gekristalliseerd in vezelachtigen vorm, als asbest of amianth, wordt medegenomen.

Het vaste koolzuur verdampt slechts zeer langzaam. Men heeft met den alkohol-thermometer waargenomen dat zijne temperatuur ongeveer 80° onder 0° is. Op de hand genomen veroorzaakt het geene gewaarwording van zeer sterke koude. Dit komt daardoor, dat er geen volmaakte aanraking is. Maar als men het met aether vermengt is de koude zoo sterk, dat eene vlok vast koolzuur op het vleesch de gewaarwording te weeg brengt van een hevig branden, en er blaren doet ontstaan, zoo als de aanraking van een brandend ligchaam zou doen.

HOOFDSTUK IX.

SPECIFIEKE WARMTE, HARE MAAT.

244. **Keuze eener warmte-eenheid, Calorie.** Nadat wij de werking *der warmte*, die de ligchamen uitzet, vloeibaar en dampvor-

mig maakt, hebben doen kennen, blijft ons nog over om hen te vergelijken ten opzichte van de hoeveelheid warmte, die zij absorbeeren om tot op een bepaald getal graden verwarmd te worden. De ondervinding heeft geleerd, dat verschillende stoffen zeer verschillende hoeveelheden warmte noodig hebben om hare temperatuur een gelijk aantal graden hooger te maken. Bij voorbeeld, bij een zelfde gewicht en bij eene zelfde verheffing van temperatuur absorbeert het water 10 maal meer warmte dan het ijzer en 30 maal meer dan het kwik. Zoo heeft er ook, wanneer de ligchamen van staat veranderen en vloeibaar of dampvormig worden, absorptie plaats van eene aanmerkelijke hoeveelheid warmte, in gebonden staat, die ook voor verschillende stoffen verschillend is.

Om de hoeveelheden warmte, noodig om de verschillende stoffen te verwarmen of haar van staat te doen veranderen, onderling te kunnen vergelijken, hebben de natuurkundigen eene *warmte-eenheid* moeten aannemen. Zij hebben daarvoor genomen *de hoeveelheid warmte noodig om* 1 *kilogram water van* 0° *tot* 1° *te verwarmen.* Deze warmte-eenheid is in de natuurkunde en werktuigkunde bekend onder den naam van *calorie.* Wanneer men dus zegt, dat een ligchaam, om tot een zeker aantal graden verwarmd te worden, 10 caloriën heeft geabsorbeerd, dan beteekent dit, dat het de hoeveelheid warmte geabsorbeerd heeft, die noodig is om 10 kilogrammen water van 0° tot 1° te verwarmen; of, wat op hetzelfde uitkomt, de hoeveelheid warmte noodig om 1 kilogram water van 0° tot 10° te verwarmen.

245. **Specifieke warmte, hare maat.** Daar men de volstrekte hoeveelheid warmte niet meten kan, welke een ligchaam absorbeert, wanneer zijne temperatuur een aantal graden klimt, heeft men zich moeten bepalen bij het meten van de *betrekkelijke hoeveelheid*, dat is te zeggen, bij die, welke het absorbeert in betrekking tot een ander ligchaam, waarmede men het vergelijkt. Dit ligchaam is het water, en daar men overeengekomen is, zoo als wij boven gezien hebben, om door 1 voor te stellen de hoeveelheid warmte noodig om 1 kilogram water van 0° tot 1° te verwarmen, noemt men *soortelijke of specifieke warmte*, ook wel *warmte-vatbaarheid of warmte-capaciteit* van een ligchaam, de hoeveelheid warmte, welke het absorbeert om in temperatuur te klimmen van 0°

tot 1° in vergelijking van die, welke in gelijk geval een gelijk gewicht aan water zou absorbeeren.

246. **Het bepalen der specifieke warmte van vaste ligchamen en vloeistoffen.** Drie verschillende methoden zijn aangewend geworden om de specifieke warmte der vaste ligchamen en der vloeistoffen te meten: namelijk *die der smelting van ijs*, *die der mengsels* en *die der afkoeling:* bij deze laatste wordt de specifieke warmte van het ligchaam berekend naar den tijd, dien het behoeft, om een bepaald aantal graden af te koelen. Wij zullen hier alleen de beide eerstgenoemde methoden behandelen.

Methode van de smelting van ijs. De methode van de smelting van ijs bestaat hierin, dat men het ligchaam, waarvan men de specifieke warmte zoekt, brengt tot eene bekende temperatuur, bijv. 100°, en het vervolgens snel in ijs werpt. Terwijl het van 100° tot 0° afkoelt, doet het ligchaam eene

Fig. 182.

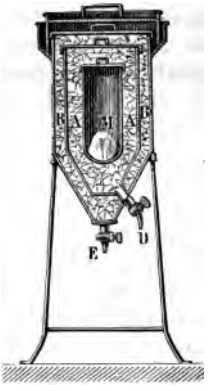


Fig. 183.

IJs-Calorimeter.

zekere hoeveelheid ijs smelten, dat men in den vorm van water opvangt. Daarna berekent men uit het gewicht van dit water, uit dat van het ligchaam en uit het getal graden dat het is afgekoeld, zijne specifieke warmte. Om deze methode gemakkelijk in praktijk te brengen, hebben Lavoisier en Laplace op het einde der vorige eeuw het volgende toestel in gebruik genomen, dat bekend is onder den naam van *ijs-calorimeter*.

Dit werktuig is in perspectief in fig. 182 en in doorsnede in fig. 183 voorgesteld. Het is een groot vat van blik, van binnen in drie concentrische afdeelingen verdeeld, M, A, B, die ieder op zich zelf door blikken deksels zijn afgesloten. De beide afdeelingen A en B zijn gevuld met fijn gestooten ijs en in de midden-afdeeling M wordt het verwarmde ligchaam, waarmede men de proef neemt, geplaatst. De warmte, die dit ligchaam uitstraalt, doet een goed gedeelte van het ijs, dat in A bevat is, smelten; het water, dat door deze smelting ontstaat, loopt weg door de kraan D en wordt in een vat opgevangen. Wat het ijs aangaat, dat in de afdeeling B bevat is, dit is niet bestemd om door het warme ligchaam gesmolten te worden, waarvan het geene warmte ontvangt, maar om de warmte die in het vertrek verspreid is, waar men de proef neemt, tegen te houden van het toestel waarmede men werkt. Kon de stralende warmte op deze wijze tot A komen, dan zoude eene zekere hoeveelheid ijs gesmolten worden en de hoeveelheid water, die door de kraan D wegvloeide, zoude te groot zijn.

Methode der mengsels. Deze methode berust weer op het verhitten tot een bekenden warmtegraad van de stof, waarvan men de specifieke warmte zoekt; daarna werpt men die stof in koud water. Dit wordt warm, daar het warmte aanneemt van de stof, terwijl deze laatste afkoelt en wel tot dat zij beiden, het water en de stof, dezelfde temperatuur hebben aangenomen. Dan leidt men uit deze gemeenschappelijke temperatuur, uit het gewicht van het water en van de stof en eindelijk uit hunne temperaturen op het oogenblik dat zij gemengd werden, door berekening de gevraagde specifieke warmte af.

Specifieke warmte van verschillende stoffen, die van het water voor eenheid aangenomen.

Water	1.0000	Zilver	0.0570
Zwavel	0.2026	Tin	0.0562
Glas	0.1977	Antimonium	0.0508
Phosphorus	0.1895	Kwik	0.0333
Diamant	0.1469	Goud	0.0324
IJzer	0.1138	Platina	0.0324
Zink	0.0955	Lood	0.0314
Koper	0.0951	Bismuth	0.0308

Men ziet uit deze cijfers, dat van genoemde ligchamen het water de grootste specifieke warmte heeft, en bij gevolg ook de meeste warmte behoeft om eene bepaalde hoeveelheid warmer te worden. Indien men bijv. in een oven van 100° een kilogram water en een kilogram ijzer plaatste, beide van 15°, dan zouden de beide stoffen wel eindigen met de temperatuur van den oven te verkrijgen; maar daar het ijzer bijna elfmaal minder warmte dan het water noodig heeft, zoude het dezen graad van hitte het eerst verkrijgen. Het absorbeerend vermogen echter van de beide stoffen zoude ook een grooten invloed hebben op den tijd die tot hare verhitting noodig is.

Van de specifieke warmte der gassen zullen wij hier niet spreken; alleen vermelden wij, dat bij hare bepaling de specifieke warmte der lucht als eenheid wordt aangenomen.

HOOFDSTUK X.

STOOMMACHINES.

247. **Uitvinding der stoommachines.** De stoommachines zijn zeker de belangrijkste toepassing van de natuurkunde op de nijverheid. Gegrond op de aanmerkelijke veerkracht welke sterk verhitte waterdamp verkrijgt (zie 238) en op de verdichting van dezen zelfden waterdamp bij afkoeling (zie 239) hebben de stoommachines, in kleinen omvang en met weinig kosten, belangrijke beweegkrachten voortgebracht. Binnen den tijd van eene eeuw is dan ook het gebruik algemeen geworden. Eerst werden zij gebezigd tot het leegpompen van putten en mijnen, later zijn zij overal doorgedrongen in werkplaatsen en fabrieken om daar den arbeid van menschen en dieren te vervangen; eindelijk zijn zij toegepast op schepen en rijtuigen om die voort te bewegen.

Het groote belang van deze werktuigen heeft gemaakt dat men veel heeft getwist en geschreven om er den uitvinder van op te sporen of liever de uitvinders: want alleen door de opeenvolgende pogingen van vele mannen van genie hebben deze werktuigen den eenvoud en de juistheid bereikt, welke zij tegenwoordig bezitten.

'en klom zelfs op tot Heron, den uitvinder van den fon-
. die zijnen naam draagt (zie 140), die werkelijk nu bijna
duizend jaren geleden een toestel uitvond, te vergelij-
met het Hydraulisch reactie-werktuig (zie 78), bekend
r den naam van *aeolipyle*. Het was een bol die door de
tie van den uitstroomenden stoom in draaijende beweging
d gebracht. Ook noemt men nog de namen van Salomon
Caus, van Dieppe, en van den Markies van Worcester.
ır de uitvinding van Salomon de Caus in 1615 en die
den Markies van Worcester in 1663 bestonden slechts
oestellen, waarin het water (in een gesloten vat verwarmd)
zijn eigen stoomspanning teruggedrukt zich verhief in
e uitlaatbuis; en staan dus in geene betrekking tot de
ktuigen, die tegenwoordig onder den naam van stoom-
ktuigen bekend zijn.

Denis Papin, een fransch geneesheer, te Blois geboren in
7 en overleden in 1710, dezelfde aan wien wij het toe-
te danken hebben beschreven in § 234, deed het eerst
zuiger in een cilinder, die van onder gesloten en van
en open was, rijzen door de uitzettingskracht van den
om, vervolgens deed hij dien zuiger dalen door het con-
seeren van dienzelfden stoom door afkoeling; dit had ten
olge dat de zuiger, nederdalende door den druk der at-
spheer, eene op- en neergaande beweging in den cilinder
kreeg en dit is nog het principe van al onze stoomwerk-
gen. Papin verliet Frankrijk en gaf in Duitschland in de
ta van Leipzig in 1690 eene beschrijving en teekening van
ne machine. Hij liet er een model van vervaardigen groot
noeg om eene raderboot te drijven. In dit model bevond
h onder in den cilinder, dus onder den zuiger, water.
aatste men vuur hieronder, dan ging het water in damp
er en de spanning van den damp deed dan den zuiger
zen: was deze tot op het einde van zijnen weg gekomen,
n nam men het vuur weg, de cilinder koelde af, de wa-
rdamp condenseerde en de zuiger daalde. Dit geschiedde
er langzaam en zeer onvolkomen, maar het was het begin-
l toch van de tegenwoordige stoommachine.

In 1705, dus 15 jaren na de eerste verhandeling van Papin,
elden Newcomen en Cawley, de een handelaar in metaalwa-
n, de ander glazenmaker te Darmouth in Devonshire, een

stoomwerktuig te zamen, bestemd om mijnen leeg te pompen, dat groote overeenkomst had met dat van Papin; de waterdamp echter werd niet *in* maar *onder* den cilinder in een ketel voortgebracht. De condensatie werd ook niet verkregen door het wegnemen van het vuur, maar door middel van inspuiten van koud water in den cilinder onder den zuiger. Men opende een kraan op het oogenblik dat de zuiger moest gaan dalen, men sloot deze na de daling, om een tweede kraan te openen, die dan weder waterdamp binnen liet, en zoo vervolgens. Maar de binnenwand van den cilinder werd ook afgekoeld door deze inspuiting van koud water en een gevolg hiervan was, dat de stoom die hierna binnen gelaten werd zich gedeeltelijk condenseerde tot dat de binnenwand weer genoegzaam verhit was; vanhier een verlies aan stoom en dus ook aan brandstof, dat aanmerkelijk was. Belangrijke verbeteringen moesten dus nog aan het stoomwerktuig aangebracht worden. Wij gaan zien hoe uitnemend de beroemde ingenieur Watt hierin slaagde

248. **Aandeel van Watt in de uitvinding van het stoomwerktuig.** James Watt, in 1736 te Greenock in Schotland geboren, was de kleinzoon van een schoolmeester en zoon van een vader zonder vermogen. Als kind ontvangt hij het onderwijs dat hem de volksscholen van Schotland kunnen verschaffen. Zestien jaren oud wordt hij leerling bij een fabrikant van optische instrumenten te Glasgow en op achttienjarigen leeftijd bij een instrumentmaker te London, die zich bepaald bezig houdt met mathematische en physische instrumenten. Teruggekeerd naar Glasgow, kan Watt, wiens vader geen burger van deze stad was, hier geen werkplaats en winkel openen. Maar door een gelukkig privilegie hebben de Professoren van de Universiteit het recht, eene wijziging in deze gewone bepaling te maken, zoover de kring van hun onderwijs zich uitstrekt, en zij geven eene werkplaats aan den jongen Watt.

Hier was het dat Watt in 1764 het model moest herstellen van de machine van Newcomen, dat zich in het physisch kabinet van de Universiteit bevond. Daar hij zich reeds bezig gehouden had met de eigenschappen van den stoom, werd *hij getroffen* door de groote hoeveelheid stoom en water ter *condensatie* die dit werktuig verbruikte. Dit was voor hem

het punt van uitgang van eene lange reeks van werken en verbeteringen, die hij met bewonderenswaardige volharding gedurende bijna 50 jaren volbracht, zonder zich ooit, door welke uitkomst ook, te laten ontmoedigen. En zoo werd *de Machine van Newcomen*, achtereenvolgens in al zijne deelen veranderd en verbeterd, in werkelijkheid *de Machine van Watt.*

Condensor. De eerste en voornaamste uitvinding van Watt was de *Condensor.* Men geeft dezen naam aan een gesloten vat, dat geheel afgezonderd van den cilinder, waarin zich de zuiger beweegt, alleen met dezen in gemeenschap staat door een buis, welke met een kraan voorzien is. In dit vat deed Watt den straal van koud water komen en verkreeg hierin dus de condensatie, terwijl hij genoemde kraan opende. Zoodoende werd al de stoom die in den cilinder kwam nuttig gebruikt, daar nu de binnenwand zich niet als vroeger afkoelde; en hieruit vloeide eene besparing van stoom en dien ten gevolge ook van brandstof voort, zoo aanmerkelijk, dat Watt en Boulton, die samen werkten, een patent genomen hebbende, groote voordeelen verkregen, terwijl zij toch als betaling slechts eischten één derde gedeelte van de besparing aan brandstof, gedurende een zeker aantal jaren, dat hun werktuig gaf in vergelijking met dat van Newcomen.

Werktuig van enkele werking. In het werktuig van Newcomen, waar de cilinder van boven open was, werkte de stoom alleen tot opduwing van den zuiger; daarop was het de druk der atmospheer, die, na de condensatie van den stoom, hem weer naar beneden deed gaan: om deze reden gaf men aan dit werktuig dan ook wel den naam van *atmospherisch werktuig.* Maar naarmate de zuiger daalde kwam er lucht in den cilinder en verkoelde den binnenwand. Een gevolg van deze afkoeling was, dat een gedeelte van den stoom, die in den cylinder geraakte, gecondenseerd werd, tot dat weer de wand op nieuw verwarmd was. Om ook deze oorzaak van verlies te ontgaan, sloot Watt den cylinder ook van boven en deed de stoom boven den zuiger werken om dezen te doen dalen: was deze nu aan het eind van zijn loop gekomen, dan geraakte te gelijker tijd de stoom èn boven èn onder den zuiger, door een samenstel van kranen, die door het werktuig zelf geopend en gesloten werden. *De zuiger, nu in tegengestelden* zin met gelijke kracht gedrukt

wordende, bleef in evenwicht; zoodat een eenvoudig tegenwicht, door middel eener balans op het uiteinde van de zuigerstang werkende, voldoende was om de opgaande beweging te verkrijgen. Dit werktuig, waarin nu de lucht niet meer doordrong en waarin de atmospherische drukking nu geen rol meer speelde, verkreeg den naam van *werktuig van enkele werking*, om aan te duiden dat de stoom slechts aan ééne zijde van den zuiger nuttig werkte.

Het werktuig van enkele werking had nog eene groote fout en wel dat het geen kracht deed dan alleen bij het dalen der zuigers. Het was wel voldoende om pompen te doen werken tot wegvoering van water uit de mijnen, omdat men daar slechts kracht in ééne richting noodig heeft, maar het kon geene beweging voortbrengen, regelmatig genoeg voor vele takken van nijverheid, als voor de weefgetouwen, om een voorbeeld te kiezen. Watt was dus nog niet aan het einde van zijn taak; niet lang duurde het dan ook of hij nam eene andere inrichting aan.

Werktuig van dubbele werking. In dit werktuig, dat wij hierna gaan beschrijven en dat voorgesteld is in fig. 184, is ook de cilinder zoowel boven als beneden gesloten, maar de stoom werkt afwisselend, nu boven dan onder den zuiger; dat wil zeggen, dat door een samenstel van buizen, welke bij afwisseling door het werktuig zelf geopend en gesloten worden, wanneer het benedengedeelte van den cilinder met den condensor verbonden is, het bovengedeelte integendeel met den stoomketel in verband staat en de stoom dus met volle kracht op den zuiger komende, dezen doet dalen. Is deze nu op zijn laagste punt gekomen, dan keeren de rollen om, en nu is het het bovengedeelte van den cylinder, dat met den condensor in verband staat en het benedengedeelte met den stoomketel, derhalve de zuiger rijst weer en zoo vervolgens. Hieruit volgt een op- en neergaande rechtlijnige beweging, welke men vervolgens verandert in eene stadige ronddraaijende; zoo als wij weldra zullen zien (249).

Luchtpomp. Eindelijk verbeterde Watt zijn werktuig nog door de bijvoeging van drie pompen, die door het werktuig zelf bewogen worden en er een belangrijke rol bij spelen. *Het koude* water van den condensor wordt spoedig verhit *door de warmte* welke de stoom er aan afstaat, en dit water,

ɔoedig tot 100° komende, zoude niet meer condenseerend op en stoom werken; en meer nog, de lucht die steeds in koud 'ater opgelost is, maakt zich hiervan in den stoomketel vrij, ›n gevolge van de temperatuursverhooging. Deze lucht nu ɔude, zich boven of onder den zuiger begevende, zeker de-›n in zijne beweging storen. Om aan deze twee schadelijke 'erkingen te gemoet te komen, heeft Watt aan zijn werk-ıig eene zuigpomp, *luchtpomp* genaamd, toegevoegd, die nophoudelijk van den condensor de zich daar ophoopende ıcht en het warme water wegneemt.

De voedingspomp en de koud-waterpomp. De twee andere oor Watt nog aan het werktuig toegevoegde pompen, zijn e *voedingspomp en de koud-water- of lenspomp.* De eerste ı eene perspomp, die het door de luchtpomp uit den con-ensor opgepompte warme water in den stoomketel brengt, etgeen eene aanmerkelijke besparing van brandstof aanbrengt.)e tweede is een zuigpomp, die uit een pot, rivier of welke ›ron ook, het koude water trekt, dat bestemd is om het in len condensor verwarmde water te vernieuwen en hetgeen er loor de luchtpomp ook uit verwijderd is.

Behalve de belangrijkè deelen, welke wij beschreven, ıebben wij aan Watt ook nog de *stoomschuif* te dan-:en, welke dient om bij afwisseling den stoom boven en on-ler den zuiger te brengen; ook nog den *centrifugaal-regula-eur*, welke dient om, wanneer het stoomwerktuig te lang-ıaam loopt, meer stoom in den cilinder te laten, en om-;ekeerd om minder stoom in te laten wanneer de snelheid e groot wordt; eindelijk nog het *parallelogram*, dat bestemd s om aan de zuigerstang eene rechtlijnige beweging te doen ›ehouden. Voegen wij nog hierbij, dat Watt, die zijn loop-›aan begonnen was met het maken van instrumenten voor viskunde en de zeevaart, terwijl hij ondernam om stoom-verktuigen te vervaardigen, in de uitvoering van deze groote ;evaarten, voor deze dezelfde geometrische strengheid en vol-naaktheid eischte, als voor de beste instrumenten in de we-›enschap in gebruik. Ook heeft na Watt zijn stoomwerktuig ›lechts geringe wijzigingen ondergaan.

Uitgezonderd eenige worstelingen, waarin hij toch overwin-ıaar bleef, mogt de beroemde ingenieur zich in een uitslag verheugen, welke zijn genie en zijne volharding verdiende-

In 1774, vijf jaren nadat hij zijn eerste patent verkreeg, vereenigde hij zich met Boulton, een rijk fabrikant te Birmingham, een schrander en onvermoeid man. Van den eenen kant had men dus het genie van de wetenschap, van den anderen kant dat van den handel. Te Soho, dicht bij Birmingham, vestigden de beide deelgenooten voor het vervaardigen van stoomwerktuigen de groote fabriek, die weldra door geheel Europa beroemd werd. In 1819, het sterfjaar van Watt, had de fabriek te Soho alleen een zoo groot aantal van stoomwerktuigen reeds vervaardigd, dat men den arbeid, dien zij leverden, kon schatten gelijk aan dien van honderd duizend paarden. Op hetzelfde tijdstip was het geheele aantal van stoomwerktuigen in Engeland en Schotland tien duizend. Zij deden het werk van vijf honderd duizend paarden of van meer dan 3 millioen menschen. Van dien tijd af zijn die getallen nog wonderbaarlijk toegenomen en zijn zij steeds nog toenemende.

Watt stierf drie en tachtig jaar oud, den 15 Aug. 1819, op zijn landgoed te Heathfield, digt bij Soho. Niet alleen had hij eene schitterende fortuin verworven, maar ook de achting en de dankbaarheid van zijne landgenooten, die hem en terecht onder de weldoeners der menschheid rangschikten.

249. **Beschrijving van het werktuig van dubbele werking.** Wij hebben in de vorige § gezien dat het werktuig van dubbele werking zulk een is, waarin de stoom afwisselend boven en onder den zuiger werkt. Een werktuig van deze soort is voorgesteld in fig. 184; en in fig. 188 zien wij eene doorsnede van den cilinder, van den zuiger en van de stoomverdeeling. Het geheele werktuig is van gegoten ijzer. Aan den zuiger T is bevestigd eene stang A, die met zachte wrijving glijdt door eene buis U, boven op het deksel geplaatst, welke den cilinder sluit, zie fig. 188. Daar er geen stoom mag ontsnappen tusschen de zuigerstang en deze buis, is deze uit twee stukken samengesteld; het eene is aan het deksel vastgegoten, terwijl het andere, juist in het eerste sluitend, zoo gemaakt is, dat het een met vet doortrokken hennepring kan samendrukken: aan deze aldus met hennep gevulde ruimte geeft men den naam van *pakking-bos*, of *hennepdoos*. Hierdoor vermijdt men stoomverlies zonder te hinderen aan de *beweging* van den zuiger.

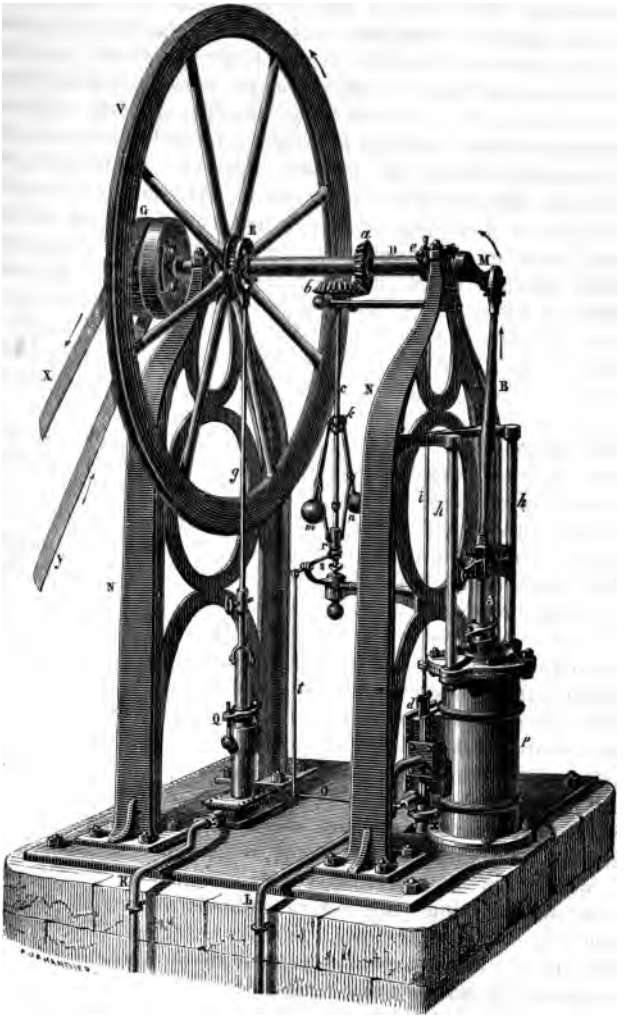


Fig. 184. Stoomwerktuig van dubbele werking.

Op beide zijden van den cilinder bevinden zich 2 kolommen *h h* (fig. 184), welke dienen om de zuigerstang in hare op- en neergaande beweging te leiden. Daarom is aan het eind van deze stang een horizontaal stuk bevestigd, dat aan beide einden een klein schijfje draagt, *leirol* genaamd; deze leirollen dwingen de zuigerstang, terwijl zij zich tegen de kolommen drukken (ook wel *leistangen* genaamd), om zich recht op en neer te bewegen, hetgeen volstrekt noodig is opdat zij niet zal breken of zich verzetten. Het uiteinde van de zuigerstang is door een scharnier met een lang stuk B, dat men *drijfstang* noemt, verbonden en dit stuk wordt gegrepen door een korter stuk M, dat *kruk* geheeten wordt, en waarvan de lengte juist gelijk is aan den halven loop van den zuiger in den cilinder. Deze kruk is onbewegelijk vast aan eene horizontale as D, *de liggende as;* zoodat de kruk niet bewogen kan worden zonder hare beweging aan die as mede te deelen.

Door middel van deze drijfstang en de kruk wordt de rechtlijnige op- en neergaande beweging van den zuiger en de zuigerstang veranderd in een stadig ronddraaijende beweging. Beschouwt men de drijfstang bij de opgaande beweging van den zuiger, dan werkt zij van beneden naar boven op de kruk en doet deze draaijen in de richting van het pijltje, juist zoo als de hand van een werkman zoude doen. Is de zuiger aan het hoogste punt van zijn loop gekomen, dan bevinden zich drijfstang en kruk beiden in verticalen toestand en juist vóór elkander. Dadelijk daarop daalt de zuiger, de drijfstang werkt nu van boven naar beneden op de kruk en doet haar in dezelfde richting als straks draaijen; en is de zuiger op het laagste punt van zijnen loop gekomen, dan zijn weer drijfstang en kruk verticaal, maar zij bevinden zich nu onder elkander. Hieruit volgt, dat de as D, die eene halve omwenteling maakt bij het opgaan, weer eene halve omwenteling maakt bij het neerdalen van den zuiger, en dus eene geheele omwenteling bij iedere dubbele beweging van den zuiger.

Om de beweging over te brengen op andere werktuigen, welke men wil doen draaijen, als: draaibanken, molens, slijpsteenen enz., bevestigt men aan de as D eene schijf G, waaromheen een snoer zonder eind gaat x y. Dit snoer is van

leder of gutta-percha en gewonden om eene andere schijf, die op gelijke wijze bevestigd is aan de as van het werktuig dat men in beweging wil brengen. Medegesleept door de eerste schijf (vaste riemschijf genaamd), deelt deze riem zijne beweging mede aan de tweede. Op deze wijze wordt in de groote fabrieken de beweging tot in alle werkplaatsen overgebracht. Rechts van de vaste riemschijf G vindt men eene tweede, die niet aan de liggende as is bevestigd; deze is de losse *riemschijf*. Zij is bestemd om de beweging in de werkplaatsen te doen ophouden, zonder de stoommachine te laten stilstaan. Om dit te verkrijgen, doet men door middel van een ijzeren vork, die op de teekening niet voorgesteld is, maar die den riem omvat, dezen van de vaste op de losse schijf overgaan; en daar nu deze laatste niet bevestigd is aan de as, draait zij niet met deze rond en brengt dus geene beweging op den riem zonder eind over.

Nog ziet men op de liggende as een groot gegoten ijzeren wiel V, dat is het *voerwiel* of *vliegwiel*. Dit wiel, dat eene groote massa heeft, is noodig om de beweging te onderhouden. Want telkenmale als de zuiger op zijn hoogsten en laagsten stand gekomen is staat hij een oogenblik stil: het zijn de zoogenaamde *doode punten;* dan sleept het voerwiel door zijne reeds verkregen snelheid en door zijn volhardingsvermogen de liggende as met zich mede en onderhoudt zoodoende eene regelmatige beweging.

De machine, die daar beschreven is (fig. 184), is bekend onder den naam van *machine met gearticuleerde drijfstang*. Wij zijn haar verschuldigd aan den engelschen ingenieur Mandsley. De machine van Watt, in de andere deelen overigens gelijk, was een *balans-machine*, dat wil zeggen, de beweging van de zuigerstang werd overgebracht op het uiteinde van een zeer groote gegoten ijzeren balans, die, in het midden op twee draaipunten zich bewegende, de beweging overbrengt op de drijfstang, de kruk en de liggende as.

De machines met gearticuleerde drijfstang zijn eenvoudiger en nemen veel minder plaats in dan de balans-machines en zijn daarom in het grootste aantal werkplaatsen aangenomen; men heeft ze tot eene kracht van twaalf paardenkrachten (255); maar voor grootere krachten zijn de balans-machines te verkiezen.

250. **Excentriek, stoomschuif.** Het *excentriek* is een onderdeel van de machine, dat dient om de stadig wentelende beweging van de as om te zetten in eene op- en neergaande rechtlijnige beweging. Men vindt er twee aan de liggende as bij E en bij *e* (fig. 184), het eene dient voor de *voedingspomp*, het andere voor de *stoomschuif*. Beiden zijn zij geheel gelijk en wij zullen alleen het excentriek van de stoomschuif beschrijven. De figuren 185 en 186, stellen het voor op grootere schaal en in twee diametraal tegenover elkander staande stellingen. Het bestaat uit een cirkelvormig stuk K E, de *excentriek-schijf*, aan de liggende as bevestigd; maar, zoodanig dat het middelpunt van draaijing van deze niet samenvalt met het middelpunt van de schijf, daar dit in C is, terwijl het andere is in O; hieruit volgt dat het punt

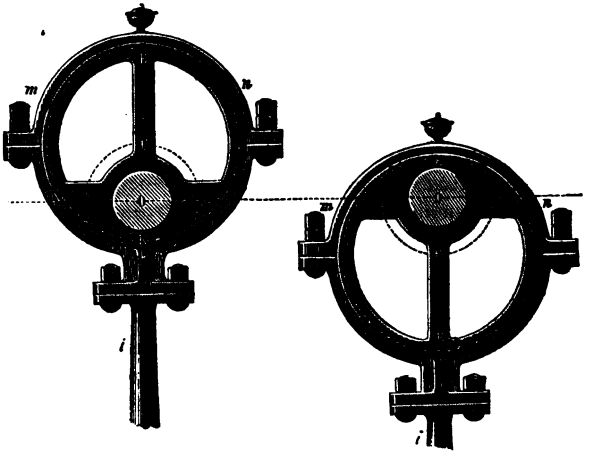


Fig. 185. Fig. 186.
Excentriek.

C om het punt O een cirkel beschrijft, in de teekening door eene gestippelde lijn voorgesteld; en nu achtereenvolgens, na elke halve omwenteling, overgaande van den stand voorgesteld in [illegible] dien van fig. 186, ziet men dat het punt C [illegible] de om het punt D, werkelijk eene

op- en neergaande beweging geeft aan den lossen ring en de daaraan verbonden drijfstang.

Om zich deze beweging ten nutte te maken omgeeft men de excentriek-schijf met een *ring m n*, waarin zij vrij kan draaijen. Hieruit volgt, dat gedurende de omwenteling van de liggende as de ring wel deelt in de op- en neergaande beweging van het punt C, maar niet in zijne wentelende beweging. In één woord, terwijl het alleen de excentriek-schijf is, die draait, doet de ring niet anders dan op- en neergaan. Hare beweging nu mededeelende aan eene stang *i* doet zij de stoomschuif werken.

Verdeeling van den stoom. Wij moeten de stoomschuif nog

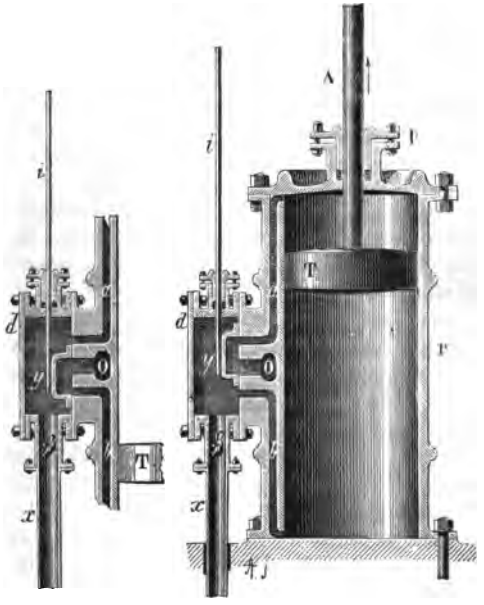


Fig. 187. Fig 188.

Verdeeling van den stoom

leren kennen, door wier werking de stoom afwisselend boven en onder den zuiger geraakt. In fig. 188 zien wij eene

van *lagen druk* te zijn, wanneer de spanning van den stoom niet boven de twee atmospheren is (116); zoo de drukking is van drie tot vier atmospheren, dan is de machine van *middelbaren* druk, en *van hoogen druk*, zoo de spanning van vijf tot zeven atmospheren is.

De machines van lagen en middelbaren druk zijn voorzien van een condensor; maar gewoonlijk missen de machines van hoogen druk den condensor. Figuur 184 stelt eene machine van hoogen druk voor, zonder condensor, en bijgevolg zonder luchtpomp. Bij gelijke kracht kosten deze machines minder dan die van lagen en middelbaren druk; zij nemen veel minder plaats in, behoeven minder brandstof en hebben niet die groote hoeveelheid water noodig, als de machines met condensor.

254. **Machines zonder uitzetting en machines met uitzetting.** De stoommachines worden nog verdeeld in *machines met uitzetting* en *machines zonder uitzetting*. De laatsten zijn die, waarin de volle stoom op den zuiger drukt gedurende zijn geheelen loop en waarbij dus de stoom steeds dezelfde spanning behoudt; terwijl bij de machines met uitzetting de toevoer van stoom tot den cilinder wordt afgesneden, voor dat nog de zuiger zijn loop volbracht heeft en wanneer hij hiervan bij voorbeeld slechts de helft of tweederden heeft afgelegd. De zuiger blijft niet staan terwijl de toevoer van stoom tot den cilinder wordt afgesneden, dewijl, ten gevolge van zijne elasticiteit hij zich *uitzet* even als een samengedrukt gas dit zoude doen en voortgaat om den zuiger te doen dalen, maar met afnemende kracht, want naar de wet van Mariotte (131) neemt de spanning af als het volumen toeneemt. Wat het mechanisme aangaat, dat dient om het toestroomen van stoom op een gegeven oogenblik te doen ophouden, dit bestaat slechts in eene wijziging van de stoomschuif (250).

De *uitzetting* kan niet toegepast worden op machines van lagen druk, omdat daar de spanning niet aanzienlijk genoeg is. Voor de machines van hoogen en middelbaren druk geeft zij niet alleen eene belangrijke besparing van den stoom en bij gevolg ook van brandstof, maar zij regelt ook de *beweging*, daar zij den druk vermindert op het oogenblik *dat de beweging* van den zuiger zou gaan versnellen.

255. **Maat van de kracht van stoommachines, paardenkracht.** Wij hebben gezien dat de spanning van den stoom gemeten wordt met een manometer; maar de kennis van deze spanning is niet voldoende om de kracht van eene stoommachine te bepalen; wij moeten nog kennen de oppervlakte van den zuiger en den weg dien hij per seconde doorloopt. Als men deze drie elementen kent, doet eene eenvoudige berekening de kracht van eene machine vinden in *paarden-krachten* uitgedrukt.

Men is overeen gekomen dat een paardenkracht in staat is, op een stadige manier werkende, 75 kilogrammen 1 meter hoog per seconde op te heffen. Is deze kracht eenmaal tot eenheid aangenomen dan noemt men eene machine van 10, van 20 paardenkrachten, wanneer zij stadig per seconde tien of twintigmalen 75 kilogrammen 1 meter hoog kan opheffen. Twee of drie gewone trekpaarden zijn gelijk aan een stoompaardenkracht.

256. **Stoomketel.** Wij eindigen de beschrijving van de stoommachine met het doen kennen van *den stoomketel*, dat is de ketel die tot het voortbrengen van stoom dient.

De figuren 189 en 190 geven het eerste eene lengte- en het andere eene dwars-doorsnede van den stoomketel en zijne inmetseling. De stoomketel bestaat uit een langen cilinder van plaatijzer P M, aan zijne beide uiteinden gesloten door twee bolvormige eindplaten. Van onderen zijn twee cilinders B B van geringeren diameter, welke men *kookbuizen* noemt en welke ieder voor zich met den stoomketel door twee sterke buizen verbonden zijn. Het doel van de kookbuizen is de verwarmings-oppervlakte te vergrooten; zij zijn geheel met water gevuld, even als de buizen die ze met den stoomketel verbinden; deze is slechts iets over de helft gevuld.

Het water, aangebracht door de voedingspomp Q geraakt in den stoomketel door eene buis *n*, die nagenoeg tot den bodem van den ketel onder water dompelt om het condenseeren van den stoom door het koude water te vermijden; eene tweede buis *m* brengt den stoom naar de stoomkast. Eindelijk bevindt zich midden op den stoomketel eene eironde opening T, welke men *mangat* noemt, omdat zij bestemd is om de werklieden door te laten, die den ketel moeten schoonmaken of herstellen. *Deze opening* is evenals de beide vóóruitein-

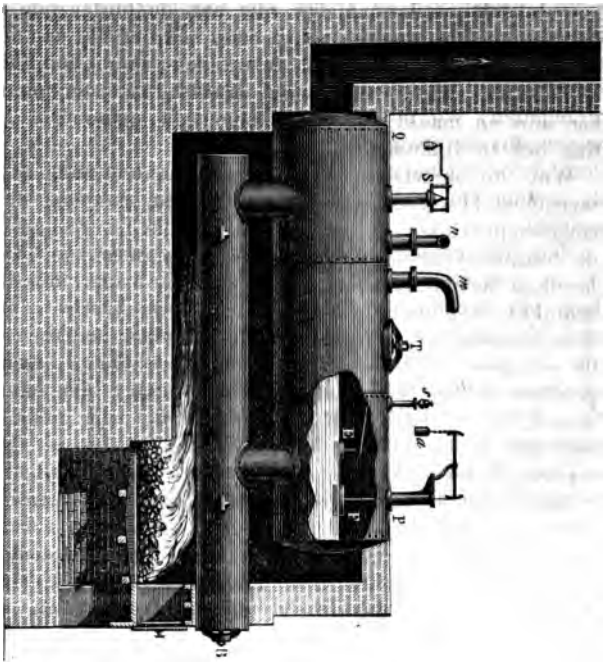


Fig. 189. Stoomketel.

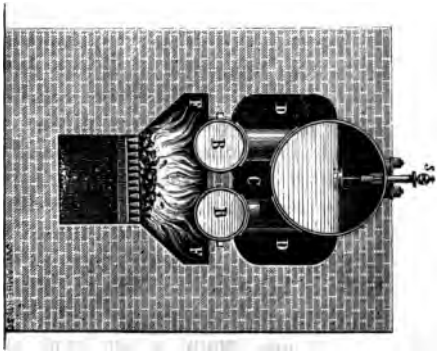


Fig. 190.

den van de kookbuizen gesloten op eene eigenaardige wijze: het deksel wordt namelijk niet aan de buitenzijde maar aan de binnenzijde aangebracht; eene schroef T, aan dit deksel bevestigd, drukt het tegen de wanden; en eindelijk de stoom, in dezelfde richting werkende, drukt bij meerder spanning sterker aan en maakt dus, hoe hooger de spanning is, de sluiting des te volkomener.

Wat de inmetseling van den stoomketel aangaat, deze is samengesteld op eene wijze om zooveel mogelijk de verwarmings-oppervlakte te vergrooten en om de verbranding van de brandstof zoo volledig mogelijk te doen zijn. Om dit te bereiken loopen de vlam en de verhitte lucht, die dadelijk in aanraking zijn met de wanden van de kookbuizen, vervolgens door gemetselde gangen, welke men *vuurgangen* noemt, die de producten van de verbranding naar groote schoorsteenen geleiden, welke men wel eens de obelisken der industrie genoemd heeft. Deze schoorsteenen brengen door hare hoogte veel bij tot het trekken, en vermeerderen bij gevolg de verbranding.

Deze vuurgangen zijn gevormd door een horizontaal tusschenschot dat het fornuis in twee deelen scheidt F F en D C D (fig. 190). Bovendien is het bovengedeelte verdeeld in drie vuurgangen D, C, D, door twee verticale tusschenschotten, die niet zichtbaar zijn op de teekening. De vlam en de producten van de verbranding, langs het onderste gedeelte der kookbuizen van voren naar achteren strijkende, komen in tegengestelde richting door den middelvuurgang C terug; vervolgens zich verdeelende begeven zij zich eindelijk door de zijvuurgangen D D in den schoorsteen M K, van waar zij zich in de atmospheer verspreiden.

Met een goed samengesteld fornuis geeft een stoomketel van 6 tot 7 kilogrammen stoom per kilogram brandstof. Dit is echter slechts ongeveer de helft van hetgeen men moest verkrijgen als de verbranding van de brandstof volledig was en men al de warmte zich ten nutte kon maken.

257 **Vlotter.** De *vlotter* of *drijver* is een klein toestel, dat aanwijst hoe hoog het water in den stoomketel staat. Het bestaat uit een hefboom die in zijn midden om een scharnier draait; aan het eene einde is een gewicht T opgehangen en aan het andere een tegenwicht *a*. (fig. 189). Het

gewicht F weegt meer dan het gewicht *a;* maar daar de vlotter in water indompelt en daardoor een gedeelte van zijn gewicht verliest (95), bestaat er evenwicht en de kleine hefboom blijft horizontaal zoolang het water in den ketel op de begeerde hoogte is. Daalt het water, dan daalt ook de vlotter F, daar hij niet meer opgehouden wordt, en de hefboom helt naar zijn kant over. Maar zoo er integendeel te veel water in den ketel komt, dan wordt de vlotter opgeheven en de hefboom helt naar de andere zijde over. Hierin heeft men dus een middel om den waterstand in den ketel te leeren kennen. En dit is van groot belang, want zoo het water daalde tot op de hoogte van de vuurgangen waardoor de vlam heentrekt, zouden de wanden van den stoomketel tot gloeijens toe verhit kunnen worden; en vermeerderde nu de hoogte van het water dan zou de stoomvoortbrenging, door de aanraking van de sterk verhitte wanden, eensklaps zoo overvloedig wezen dat eene hevige ontploffing er het gevolg van zoude zijn.

258. **Veiligheidsklep.** Men weet dat de spanning van den stoom in den ketel gemeten wordt door een manometer. Maar dit werktuig kan, zoo men op zijne aanwijzingen geen acht geeft, de ontploffing niet voorkomen. Daarom plaatst men altijd op de stoomketels twee veiligheidskleppen, gelijk aan die van de Papiniaansche pot (fig. 178). Wij zien op eene grootere schaal in fig. 191 een van deze veiligheidskleppen voorgesteld. Zij is samengesteld uit een metalen stopdeksel *c*, welke eene buis A sluit, die op den ketel bevestigd is.

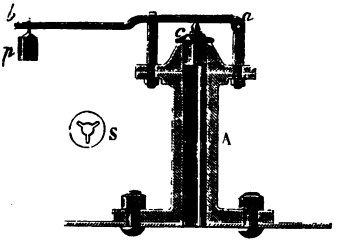


Fig. 191. Veiligheidsklep.

Om aankleving te vermijden tusschen de wanden van de buis is deze metalen stop aan drie zijden uitgehold, zoo als men bij S ziet, zoodat zij eigenlijk sluit op de wijze van eene klep en niet op die van een stop. Op het stuk *c* rust een hefboom *a b*, beweegbaar om een scharnier *a* en beladen met een gewicht *p*. Door dit gewicht langs den hefboom te verplaatsen, kan men de klep meer of minder bezwaren. Daarom

heeft men op den hefboom eenige verdeelingen uitgegroefd, welke de plaats aanwijzen voor het gewicht om eene gegeven drukking uit te oefenen. Wil men bijvoorbeeld dat de spanning in den stoomketel die van 5 atmospheren niet te boven gaat, dan brengt men het gewicht op de afdeeling 5 van den hefboom. Zoo lang nu de spanning van den stoom onder de 5 atmospheren blijft, blijft ook de klep gesloten; maar zoo de spanning deze grens overschrijdt, dan opent zich de klep en geeft een uitweg aan den stoom, hetgeen ontploffingen voorkomt.

259. **Alarmfluit** De *alarmfluit*, ook wel *stoomfluit* genoemd, is ook een veiligheidstoestel, dat dient om van verre aan te kondigen wanneer de waterstand in den ketel te laag is. Het bestaat uit een vlotter F (fig. 192), gedragen door een hefboom *i h*, beweegbaar om het punt *c i*; een tegenwicht *p* maakt

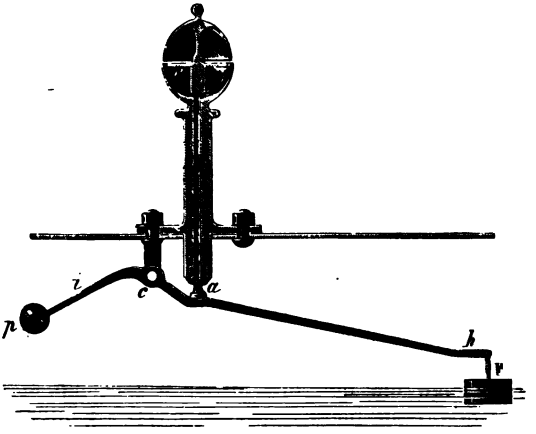


Fig. 192. Alarmfluit.

evenwicht met den vlotter, en eene kleine kegelvormige klep *a*, aan den hefboom bevestigd, sluit eene buis die door den wand van den stoomketel heengaat. Deze buis eindigt van boven in twee halve bollen. In het midden van den onderste halven bol is eene schijf *e* die de randen bijna raakt, zoodat er eene kleine tusschenruimte overblijft. Eindelijk is nog tusschen de *beide halve* bollen eene cirkelvormige ruimte

overgelaten, door welke de stoom kan ontsnappen zoodra de kegel *a* de buis niet meer sluit.

Zoolang het water in den ketel op de hoogte is, die het hebben moet, is de vlotter F opgeheven en drukt hij den kegel *a* tegen de buis; maar zoo het water daalt, daalt ook de vlotter en met hem de kegel. De stoom stroomt nu dadelijk uit langs de schijf heen en geeft een zeer hoogen toon, terwijl hij stoot tegen den rand van den bovensten hollen bol die schuins afgeslepen is.

Op spoorwegen en stoombooten brengt de machinist, door middel van eene gelijksoortige fluit, signalen tot op groote afstanden over, terwijl hij slechts een kraan opent die stoom uitlaat.

HOOFDSTUK XI.

HYGROMETRIE.

260. **Onderwerp der hygrometrie.** De *hygrometrie*, aldus genoemd naar een grieksch woord, dat *maat der vochtigheid* beteekent, heeft ten doel den graad van vochtigheid der lucht te doen kennen. De vochtigheid der lucht toch hangt niet zoozeer af van de hoeveelheid waterdamp, die in den dampkring bevat is, als wel van hare meerdere of mindere verwijdering van het verzadigingspunt (zie 228), welke twee zaken niet hetzelfde zijn. Bij gelijk gehalte aan waterdamp is de lucht te vochtiger, naarmate de temperatuur lager is, want naar die mate is zij ook dichter bij het verzadigingspunt en te meer geneigd om den opgelosten waterdamp af te zetten. Om die reden is de lucht in het algemeen 's winters vochtiger dan 's zomers, ofschoon er in het laatste jaargetij doorgaans meer waterdamp in den dampkring bevat is dan gedurende den winter. Om dezelfde reden is ook de lucht 's nachts vochtiger dan over dag. Wanneer men een vertrek verwarmt, wordt de vochtigheid minder, omdat de waterdamp, die zich in de lucht bevindt, op eene hoogere temperatuur gebracht wordende, zich verder van het verzadigingspunt verwijdert.

De hoeveelheid waterdamp, die in de lucht bevat is, wisselt zeer af met de jaargetijden, de luchtstreken, de tem-

peratuur en verschillende plaatselijke omstandigheden. In Nederland is de lucht nooit volkomen droog, en slechts zelden geheel met waterdamp verzadigd; gewoonlijk echter is de vochtigheid tusschen deze beide uitersten in gelegen. Deze middelmaat is trouwens ook het meest geschikt voor het dierlijk leven. In eene volkomen drooge lucht is de uitwaseming door de poriën der huid al te overvloedig, de huid barst of schilfert af, en de dieren ondervinden een onaangenaam gevoel. In eene al te vochtige lucht kan er in het geheel geene uitwaseming plaats hebben, en dit brengt in het dierlijk leven eene storing te weeg, die den dood ten gevolge kan hebben; vandaar het ongezonde van mistig weder.

Het is dus van groot belang de vochtigheid der plaatsen, waarin men verkeert, zoodanig te regelen, dat men voor de beide uitersten bewaard wordt. Daarom is het niet ongeschikt, 's winters een schotel met water op den kagchel te plaatsen; want daar bij een gesloten kagchel de lucht in het vertrek veel minder ververscht wordt dan bij een open schoorsteen, wordt zij hoe langer hoe drooger, naarmate zij meer verwarmd wordt, ofschoon de hoeveelheid waterdamp dezelfde blijft.

261. **Hygroscopen.** De instrumenten, die dienen om de vochtigheid der lucht aan te wijzen, zijn bekend onder den naam van *hygroscopen* en *hygrometers*. Het eerste beteekent *aanwijzers*, het tweede *meters der vochtigheid*. Alle stoffen, die den waterdamp uit de lucht aantrekken, zoo als het gewone tafelzout en vele andere, bekend onder den naam van *vervloeijende* zouten, kunnen als hygroscopen dienen. Even zoo een groot aantal dierlijke en plantaardige stoffen, zooals papier, perkament, haren, darmsnaren, enz., die door vochtigheid langer, door droogte korter worden, en alzoo eene aanwijzing geven van de meerdere of mindere vochtigheid der lucht.

Men heeft een groot aantal hygroscopen uitgedacht, waarvan veel in gebruik is de *wringings-hygroscoop*, in het dagelijksche leven bekend in den vorm van een monnik, afgebeeld in figuur 193. Dit instrumentje bestaat uit een houten plankje, dat op een voetstuk staat en in den vorm van een mensch is uitgesneden; het hoofd is voorzien van eene muts van dun bordpapier, die om het punt *a* draait, waar zij bevestigd is aan het uiteinde van eene ineengedraaide snaar;

deze laatste is aan het andere uiteinde achter aan het plankje bevestigd in eene sleuf *o*, zoo als men het ziet in de doorsnede A B. Daar nu de snaar door de droogte inkrimpt en door de vochtigheid zich ontspant, sleept zij de muts mede, die men zoodanig gesteld heeft, dat zij zich boven het hoofd van den persoon bevindt, wanneer de lucht vochtig, en naar achteren valt, wanneer de lucht droog is.

Fig. 193. Hygroscoop

Deze hygroscopen geven slechts onnauwkeurige aanwijzingen; en daarenboven zijn zij zeer *traag*, dat wil zeggen, dat zij eerst van stand veranderen, wanneer de lucht reeds een geruimen tijd vochtiger of drooger geweest is; ook hebben zij volstrekt geen wetenschappelijke waarde.

262. **Haarhygrometer.** De natuurkundigen hebben een groot aantal hygrometers uitgedacht; een der meest gebruikte is de *haarhygrometer*, ook bekend onder den naam van *hygrometer van Saussure*, aldus genoemd naar den uitvinder, een beroemd natuuronderzoeker, die in 1729 te Genève overleed.

Dit instrument berust op de eigenschap der haren, om zich door vochtigheid te verlengen en door droogte in te krimpen. Het bestaat uit een koperen plaat, waarop een haar gespannen is, zooals te zien is in figuur 194. Dit haar, ongeveer 20 Nederl. duimen lang, is van boven aan een pinnetje bevestigd; van onderen is het gewonden om eene kleine katrol, waaraan het uiteinde van het haar bevestigd is. Om dezelfde katrolschijf, die dubbel is, is in tegengestelde richting van het haar een zijden draad gewonden, die een gewichtje P draagt, bestemd om het haar te spannen. Eindelijk is op de as van de katrolschijf een lange wijzer bevestigd, die met de schijf omdraait en zich over een verdeelden cirkel beweegt, welks

rdeeling wij zoo straks zullen nagaan. Maar vooraf moeten j de toebereiding beschouwen, die het haar moet onderan alvorens het toestel op de zoo even beschrevene wijze te richten.

Daar de haren in den natuurlijken toestand met eene vethtige stof bedekt zijn, die de opneming van vocht belemmert, is het noodig ze van dit vet te ontdoen. Dit geschiedt door ze te koken in water, waarin men één honderdste deel koolzure soda, een der bestanddeelen van de witte zeep, heeft opgelost. Daarna wascht men het haar in gedestilleerd water af, laat het drogen, en bevestigt het dan op het instrument.

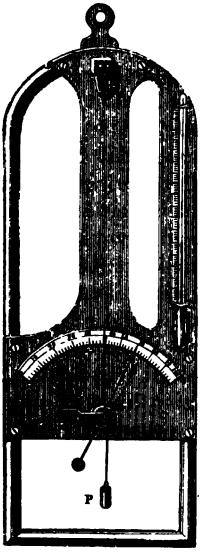


Fig. 194. Hygrometer van Saussure.

Wanneer dit gedaan is komt het er op aan, de schaal van den hygrometer te gradueeren. Saussure nam hiertoe twee vaste punten aan, waarvan het eene overeenkomt met volkomen droogte, het andere met volkomen vochtigheid. Het eerste punt bereikt men door het instrument gedurende eenigen tijd onder eene glazen klok te plaatsen, waaronder zich tevens de eene of andere stof bevindt, die het water sterk aantrekt, zoo als ongebluschte kalk of zwavelzuur. Daar de lucht onder de klok langzamerhand hare vochtigeid verliest, krimpt het haar in en de wijzer beweegt zich an rechts naar links, zooals in de nevensgaande figuur is oorgesteld; na verloop van eenige dagen verandert hij niet eer van stand, en op die plaats teekent men *nul* aan op e wijzerplaat. Het tweede vaste punt wordt verkregen door e drogende stoffen uit de klok te verwijderen en de wanen van deze te bevochtigen; de lucht is dan spoedig met aterdamp verzadigd, het haar verlengt zich, de wijzer beeegt zich van links naar rechts, en blijft na verloop van enige uren weder onveranderlijk staan. Bij dit tweede pun-

plaatst men 100, en verdeelt dan de tusschenruimte tusschen 0 en 100 in honderd gelijke deelen.

Wanneer de hygrometer op deze wijze vervaardigd is, is hij zeer gevoelig en wijst zeer snel de veranderingen van vochtigheid, die in den dampkring plaats hebben, aan; maar het aantal graden, dat de wijzer aanduidt, geeft niet de in de lucht bevatte hoeveelheid waterdamp aan. Wij zullen zien, hoe deze fout door Gay-Lussac is te boven gekomen.

263. **Vochtigheidstoestand der lucht.** Door vochtigheidstoestand der lucht verstaat men niet de hoeveelheid waterdamp, die er in opgelost is, maar de verhouding van die hoeveelheid tot die welke er in zou opgelost zijn, wanneer de lucht verzadigd ware; bij voorbeeld, wanneer men zegt dat de vochtigheidstoestand der lucht drie vijfde is, wil dit zeggen, dat de lucht slechts drie vijfde van de hoeveelheid waterdamp bevat, die zij bij dezelfde temperatuur zou kunnen bevatten.

Nu heeft de ondervinding geleerd, dat de bovenbeschrevene haarhygrometer niet den vochtigheidstoestand aanwijst. In een dampkring, die half verzadigd is, staat de wijzer, in plaats van op 50 (het midden der verdeeling), op 72; evenzoo wanneer de lucht voor een vierde verzadigd is, wijst de hygrometer niet op 25, maar op 46. Men ziet hieruit, dat de graden van het instrument volstrekt niet evenredig zijn aan den vochtigheidstoestand der lucht. Ten einde deze fout te ontgaan, heeft Gay-Lussac proefondervindelijk de vochtigheidstoestanden bepaald, die met de verschillende graden van den haarhygrometer overeenkomen, en hiernaar eene tabel vervaardigd, waarin naast elken graad van het instrument de overeenkomstige vochtigheidstoestand staat aangeteekend.

HOOFDSTUK XII.

METEOROLOGISCHE VERSCHIJNSELEN, DIE VAN DE WARMTE AFHANGEN.

264. **Onderwerp der meteorologie.** De *meteorologie*, afgeleid van een grieksch woord, dat *hoog*, *verheven* beteekent, behandelt de verschijnselen, die zich in onzen dampkring voordoen, als de afwisselingen van temperatuur der lucht, regen, *wind*, *storm*. Deze wetenschap is nog nieuw, maar eene

hoogst belangrijke toepassing van de natuurkunde, en geeft de nuttigste wenken aan de scheepvaart, den landbouw en de gezondheidsleer.

265. **Gemiddelde temperatuur.** Men onderscheidt gemiddelde *dagelijksche*, *maandelijksche* en *jaarlijksche* temperatuur. De *gemiddelde temperatuur van een dag* is die welke men verkrijgt door de 24 verschillende temperaturen, die men van uur tot uur opgeteekend heeft, op te tellen en die som door 24 te deelen. De *gemiddelde van een maand* is de som van de dagelijksche gemiddelden, gedeeld door het aantal dagen en eindelijk verkrijgt men de *jaarlijksche gemiddelde* door de maandelijksche gemiddelden op te tellen en door 12 te deelen.

De jaarlijksche gemiddelde temperatuur is niet standvastig voor eene zelfde plaats. Maar de verschillen van het eene jaar en een ander zijn niet groot, eenige weinige graden slechts. Te Parijs is na 30 jaren waarneming de jaarlijksche gemiddelde 10°.6. De hoogste maandelijksche gemiddelde is in Julij, de laagste in Januarij. Wat de dagelijksche temperatuur aangaat, het minimum wordt waargenomen te 4 uren 's morgens en het maximum te 2 uren 's namiddags.

Men heeft opgemerkt, dat de gemiddelde van iederen dag ongeveer wordt waargenomen des avonds te half acht uren.

Des morgens heeft niet in iedere maand een zelfde uur de middelwaarde bereikt. In April, Mei, Junij, Julij Augustus heeft dit plaats te half acht des morgens; in Maart, September en October komt dit te half negen; en in den winter: November, December, Januarij en Februarij komt het eerst na negen uren voor.

Neemt men echter *twee* waarnemingen per dag op gelijknamige uren, dan vindt men nabij het gemiddelde van iedere maand uit $\frac{20+8}{2}$ of $\frac{21+9}{2}$ uren, vooral uit het eerste tweetal 's morgens acht en 's avonds acht.

De gemiddelde normale temperatuur van het jaar komt voor Utrecht op den 20 April en den 22 October met eene waarde van 9°.8.

De warmste dag is 5 Augustus.....19°.2
De koudste dag is 10 Januarij..... 0.5
De grootste warmte te Utrecht na 1848 is geweest:
4 Augustus 1857.....34°.4
De *grootste koude* 21 Januarij 1850 — 21.0

Normale Thermometer-stand. *(In Celsius-graden.)*

Te 8 uren 's morgens.

DATUM.		Helder.	Groningen.	Utrecht.	Nijmegen.	Vlissingen.	Maastricht.
Januarij	1	1,4	—0,2	0,0	0,2	1,4	0,2
"	11	0,1	—0,8	—0,5	—0,3	1,1	—0,2
"	21	1,0	0,1	0,4	0,7	1,7	0,8
Februarij	1	1,9	0,6	1,1	1,5	2,2	1,4
"	11	1,7	0 7	0,8	1,3	2,3	1,6
"	21	1,9	0,9	0,9	1,3	2,8	1,7
Maart	1	2,6	1,4	1,8	2,0	3,3	2,5
"	11	2,7	1,5	2,4	2,4	3,8	2,7
"	21	4,5	3,2	4,5	4,3	4,4	4,7
April	1	5,3	4,7	6,1	5,8	5,3	6,2
"	11	6,6	6,4	8,0	7,5	7,5	8,0
"	21	8,1	8,0	9,6	9,3	9,4	9,7
Mei	1	10,0	10,0	11,4	11,2	11,1	11,8
"	11	11,1	11,1	12,5	12,5	12,0	13,3
"	21	12,2	12,4	13,7	13,9	13,0	14,5
Junij	1	13,1	13,5	15,3	15,4	14,2	15,9
"	11	15,5	15,5	17,5	17,5	15,2	17,3
"	21	15,8	15,6	17,6	17,6	16,2	17,5
Julij	1	16,6	16,5	18,4	18,2	17,1	18,2
"	11	17,3	17,0	18,9	18,7	17,9	18,8
"	21	17,5	17,5	18,9	18,7	18,5	19,1
Augustus	1	17,8	17,6	19,0	18,9	18,6	18,8
"	11	17,7	17,2	18,9	18,5	18,0	18,4
"	21	17,1	16,1	17,9	17,4	17,3	17,6
September	1	16,3	15,4	16,7	16,0	16,5	16,7
"	11	15,3	14,0	15,2	14,7	15,5	15,3
"	21	13,8	12,1	13,1	12,8	14,6	13,5
October	1	12,2	11,1	11,6	11,4	13,6	11,9
"	11	11,1	9,8	9,9	9,8	12,1	10,2
"	21	10,1	8,6	8,5	8,6	10,1	9,1
November	1	7,7	6,2	6,1	6,3	8,0	6,7
"	11	6,1	4,5	4,3	4,5	6,6	5,0
"	21	4,8	3,1	2,8	3,1	5,6	3,7
December	1	4,5	3,2	2,7	3,0	4,6	3,6
"	11	3,2	2,0	1,7	2,0	3,5	2,5
"	21	2,7	0,8	0,6	0,7	2,4	1,2

Herleiding van Celsius-graden in die van Fahrenheit.

Celsius.	Fahrenheit.
20°	= 68
19,5	= 67.1
19,	= 66.2
18,5	= 65.3
18,	= 64.4
17,5	= 63.5
17,	= 62.6
16,5	= 61.7
16,	= 60.8
15,5	= 59.9
15,	= 59.0
14,5	= 58.1
14,	= 57.2
13,5	= 56.3
13,	= 55.4
12,5	= 54.5
12,	= 53.6
11,5	= 52.7
11,	= 51.8
10,5	= 50.9
10,	= 50.0
9,5	= 49.1
9,	= 48.2
8,5	= 47.3
8,	= 46.4
7,5	= 45.5
7,	= 44.6
6,5	= 43.7
6,	= 42.8
5,5	= 41.9
5,	= 41.0
4,5	= 40.1
4,	= 39.2
3,5	= 38.3
3,	= 37.4
2,5	= 36.5
2,	= 35.6
1,5	= 34.7
1,	= 33.8
0,5	= 32.9
0,	= 32.0
—0,5	= 31.1
—1,5	= 30.2

Normale Barometer-stand. (*In millimeters.*)

Te 8 uren 's morgens.

DATUM.		Helder.	Groningen.	Utrecht.	Nijmegen.	Vlissingen.	Maastricht.
uarij	1	760.2	759.3	760.4	759.2	761.9	757.6
"	11	60.3	59.5	60.7	59.6	62.1	57.9
"	21	60.4	59.4	60.8	59.6	62.2	58.0
bruarij	1	60.3	59.3	60.6	59.3	62.0	57.8
"	11	60.3	59.2	60.4	59.1	61.8	57.6
"	21	60.5	59.3	60.4	59.2	61.8	57.6
art	1	61.9	59.7	60.8	59.5	62.2	57.9
"	11	61.6	60.1	61.2	59.9	62.5	58.1
"	21	61.4	60.0	61.0	59.7	62.3	57.9
ril	1	60.7	59.2	60.0	58.6	61.5	56.9
"	11	59.7	58.5	59.1	57.5	60.6	56.0
"	21	59.4	58.3	58.9	57.2	60.3	55 6
i	1	59.9	58.9	59.4	57.8	60.8	56.1
	11	60.4	59.3	60.0	58.2	61.4	56.2
	21	60.8	59.7	60.3	58.6	61.7	57.0
nij	1	61.1	59.9	60.6	59.0	62.2	57.3
"	11	61.4	60.2	60.9	59.4	62.5	57.8
	21	61.1	60.1	60.9	59.6	62.5	57.8
lij	1	60.9	59.9	60.6	59.3	62.1	57.4
"	11	60.6	59.5	60.4	58.9	61.9	57.1
	21	60.5	59.4	60.3	58.8	61.8	57.1
gustus	1	60.6	59.3	60.4	59.0	61.9	57.2
"	11	60.8	59.5	60.5	59 3	62.1	57.5
"	21	60.9	59.7	60.8	59.6	62.4	57.7
tember	1	61.0	60.0	60.9	59.8	62.5	57.9
"	11	61.1	60.2	61.1	59.9	62.6	58.1
"	21	61.2	60.2	61.1	59.9	62.5	58.1
tober	1	61.1	59.9	60.8	59.7	62 3	57.9
"	11	60.9	59.5	60.3	59.8	61.8	57.2
"	21	60.5	58.9	59.5	58.4	61.0	56.7
vember	1	60.0	58.4	59.1	58.0	60.5	56.1
"	11	59.5	58.3	59.1	57.9	60.4	56.1
"	21	59.1	58.3	59.2	58.1	60.6	56.2
cember	1	59.4	58.6	59.5	58.5	60.8	56.6
"	11	59.6	58.8	59.8	58.7	61.2	57.0
"	21	60.0	59.0	60.1	58.9	61.5	57.2

In deze cijfers zijn begrepen de fouten der barometers, die daarenboven minder hoog wijzen, naarmate zij hooger boven de oppervlakte der zee zijn geplaatst; die instrumenten daar geplaatst, wijzen gemiddeld 200 hoog.

266. **Maximum en Minimum Thermometer.** Om de bepaling van de gemiddelde temperatuur gemakkelijk te maken, heeft men een groot aantal instrumenten uitgedacht, waarvan sommigen de temperatuur van uur tot uur opteekenen, anderen wederom alleen de hoogste en laagste temperatuur van dag en nacht aanwijzen. Het eenvoudigste van deze werktuigen is de *Maximum* en *Minimum thermometer* van Rutherford. Op een langwerpige glazen plaat zijn twee thermometers bevestigd, wier buizen rechthoekig omgebogen en horizontaal geplaatst zijn (zie fig. 195). De bovenste is een kwik-thermometer en wijst de hoogste temperatuur aan. De onderste is een alkohol-thermometer en wijst de laagste aan.

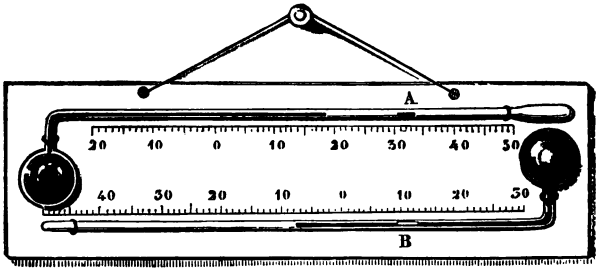


Fig. 195.

De aanwijzingen van deze thermometers worden zichtbaar door kleine beweegbare wijzers (indices) die zich in de thermometer-buizen bevinden. In den kwik-thermometer is deze wijzer (index) een kleine stalen cilinder A, dien het kwik voor zich uit drijft als het door de warmte uitzet. Wordt het kwik afgekoeld, dan krimpt het in, doch het wijzertje blijft liggen en toont alzoo de hoogste temperatuur aan die heeft plaats gevonden.

In den minimum-thermometer bestaat deze wijzer uit een kleinen cilinder van email B, die geheel ingedompeld is in den alkohol. Wanneer deze inkrimpt voert het den cilinder mede tengevolge van de adhaesie; maar zet de alkohol door de warmte uit, dan dringt de vloeistof tusschen de wanden van *de buis* en den cilinder door, zonder dezen laatsten mede te *voeren.* Hieruit volgt dat de plaats waar de cilinder is blij-

ven liggen, tengevolge van de inkrimping van de vloeistof, ook de laagste temperatuur aanduidt. In de teekening hierboven toont de wijzer A 30°½ boven 0° (+ 30°½) en de wijzer B 9°½ onder 0° (— 9°½).

Bij de meteorologische waarnemingen moeten de thermometers (welke men dan ook gebruikt) geplaatst zijn in de open lucht, beschut tegen de zonnestralen, verwijderd van elk ligchaam dat warmtestralen kan terugkaatsen, en ongeveer 2 meters boven den beganen grond.

267. **Oorzaken, die de temperatuur der lucht wijzigen.** De voornaamste oorzaken, die de temperatuur der lucht wijzigen zijn de *breedte*, dat is de afstand van den aequator, de *hoogte*, dat is de afstand tot het vlak der zee, en de nabijheid der zee.

1°. *Invloed der breedte.* De temperatuur der lucht en van den grond neemt af naarmate men van den aequator af de polen nadert. Deze afkoeling komt daarvandaan, dat de zonnestralen, die onder den aequator loodrecht vallen, meer en meer hellen naarmate men de polen nadert. Wij hebben reeds gezien dat hoe meer de warmtestralen, die op een ligchaam vallen, hellen, er des te meer worden teruggekaatst en dus het ligchaam des te minder verwarmd wordt. De zonnewarmte, die door den grond geabsorbeerd wordt, neemt dus af als men zich van den aequator verwijdert. Dit is de oorzaak van de afkoeling van den grond en van de lucht, welke in ons klimaat gemiddeld bedraagt 1 graad voor 185 kilometers noordwaarts opgaande. Maar daar in den zomer de dagen snel lengen van den aequator af tot aan de polen, vloeit hieruit voort, dat het verlies, hetwelk wij zoo even beschreven, gedeeltelijk opgewogen wordt door den langeren duur van de zon boven den horizon. Onder den aequator, waar de dagen allen even lang zijn, is de temperatuur nagenoeg altijd gelijk, maar in de meer noordelijk gelegen landen als Nederland, waar de lengte der dagen zeer ongelijk is, wisselt zij ook veel af. In den zomer wordt die temperatuur soms bijna zoo hoog als onder den aequator.

2°. *Invloed der hoogte.* Het dalen der temperatuur naarmate men zich hooger in de atmospheer verheft, bemerkt men bij het opstijgen in luchtbollen en bij het bestijgen van bergen. Deze *afkoeling is* aanmerkelijk genoeg om de hooge

bergen met eeuwige sneeuw te bedekken, zelfs in de verzengde luchtstreek. De hoogte, waarop men de eeuwige sneeuw aantreft, wisselt af met de breedte: bij de Anden van Quito begint de eeuwige sneeuw op 4483 meters, en bij de Alpen op 2710 meters. Wat het dalen der temperatuur aangaat in verband met de hoogte, men rekent onder den aequator 1 graad daling op 187 meters en in de gematigde luchtstreek 1 graad op 150 meters.

3°. *Invloed der winden.* De luchtstroomen in de atmosfeer zijn meer of minder verwarmd of afgekoeld al naarmate de streken waardoor zij zijn getrokken. De windrichting oefent een belangrijken invloed op de temperatuur der lucht. Voor onze streken is de Zuiden wind de warmste, de Noord-Oosten wind de koudste.

4°. *Invloed van de nabijheid der zeeën.* De nabijheid der zeeën maakt de temperatuur der lucht meer gelijkvormig daar zij deze 's winters verwarmt en 's zomers afkoelt. De waarnemingen der zeevaarders hebben geleerd dat in de zeeën steeds warme stroomen zijn, gaande van den aequator naar de polen, maar ook koude stroomen in omgekeerde richting. Hierdoor ontstaat een mengsel, dat de gemiddelde temperatuur der zeeën minder veranderlijk maakt en hooger dan die van het vaste land. Deelt zich nu, op de kusten van het vaste land en op de eilanden, deze gelijkheid van temperatuur mede aan de lucht, dan volgt hieruit dat in den regel het *kust-klimaat* zachter is, bij gelijke breedte, dan het klimaat van het vaste land.

WOLKEN, MIST, REGEN, DAUW.

268. **Vorming van de wolken en den mist.** De *wolken* zijn opeenhoopingen van dampen, die door afkoeling in de hoogere gewesten van den dampkring tot water verdicht zijn. Om ons eene voorstelling van haar ontstaan te maken, moeten wij ons herinneren, dat de lucht, zelfs wanneer zij volkomen helder is, altijd eene groote hoeveelheid onzichtbaren waterdamp bevat, die afkomstig is van de verdamping aan de oppervlakte der zee zoowel als op het vaste land. De hoeveelheid waterdamp, die aldus in de lucht bevat is, is te grooter naarmate de temperatuur hooger is. In ons klimaat bij voorbeeld bevat

dampkring 's zomers gemiddeld tweemaal zoo veel waterdamp
ı 's winters. Wanneer nu door de eene of andere oorzaak
lucht afkoelt tot het verzadigingspunt, dan begint de damp
ch te verdichten en wordt zichtbaar als nevel of wolken.
Wat de oorzaken aangaat, die de afkoeling der lucht kun-
n te weeg brengen, deze zijn vele in aantal. Eene der voor-
amste is gelegen in de opstijgende luchtstroomen (zie 217):
ant de verwarmde lucht, die in den dampkring naar boven
ijgt, komt onder een steeds afnemende drukking en zet zich
ıs uit, en deze uitzetting, die, zooals wij weldra (zie 281)
en zullen, eene krachtige bron van koude is, is voldoende
ı wolken te doen ontstaan. Hetzelfde geschiedt door de
rgen, die de winden in de vlakte tegenhouden en ze dwin-
n op te stijgen. Om die reden valt er op de bergen veel
gen, en dit is weder eene reden, waarom de groote rivie-
n vandaar haren oorsprong nemen. Eene andere oorzaak
n afkoeling, die voldoende is om den waterdamp te verdich-
n, is gelegen in de ontmoeting van twee luchtstroomen,
n welke de eene koud, de andere warm en vochtig is.
Om te verklaren op welke wijze de wolken in den damp-
ing blijven zweven, zijn door de natuurkundigen twee hypo-
esen opgeworpen. In de eerste neemt men aan, dat de
olken bestaan uit uiterst kleine *blaasjes*, die hol zijn, even
ı zeepbellen en gevuld met eene ijlere lucht, dan die hen
ıgeeft, waardoor de blaasjes zwevende blijven, als zoovele
chtballonnetjes. Volgens de tweede hypothese bestaan de
olken uit eene opeenhooping van uiterst kleine *droppeltjes*,
e ten gevolge van hunne geringe zwaarte in de lucht blij-
n hangen, even als wij zulks bij de kleine stofjes in den
mpkring waarnemen, die door den wind worden meege-
erd. Deze laatste hypothese wordt tegenwoordig vrij alge-
een aangenomen.
Naar den vorm en de hoogte der wolken worden zij in
er hoofdsoorten onderscheiden: namelijk de *regenwolk* (nim-
ıs), de *laagvormige wolk* (stratus), de *stapelwolk* (cumulus)
de *vederwolk* (cirrus). In fig. 196, zijn deze wolken in de
noemde volgorde aangeduid door 1, 2, 3 en 4 vogels in
vlucht.
Mist bestaat uit niets anders dan uit wolken, die tot dicht
n de oppervlakte der aarde gedaald zijn; hij ontstaat even

als deze door verdichting van opgelosten waterdamp. Op die wijze vormen zich kort na zonsondergang de nevels boven

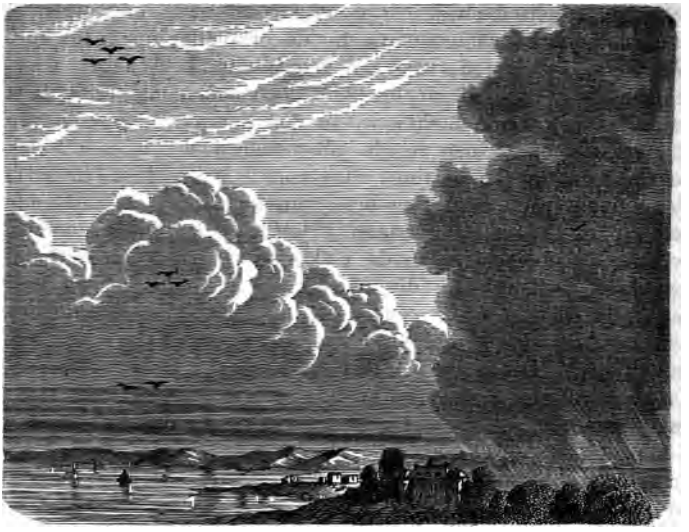


Fig. 196. Verschillende soorten van wolken.

rivieren, meren en vochtige weilanden. Daar de oppervlakte van het water namelijk, niet zoo spoedig afkoelt als de oppervlakte van het land, uithoofde van de opstijgende en neerdalende stroomen, die er in ontstaan (zie 217), zoo moet de lucht boven het water eene hoogere temperatuur blijven behouden dan boven het land; wanneer nu deze luchtmassa's van verschillende temperatuur zich met elkander vermengen, ontstaat er verdichting van waterdamp.

269. **Over den regen.** De *regen* ontstaat door het neervallen van de kleine droppeltjes, die de wolken samenstellen, wanneer deze droppeltjes zich onderling vereenigen en alzoo een te groot gewicht verkrijgen om langer in den dampkring te blijven zweven. Overigens ontstaat de regen meestal op het oogenblik zelf, dat de dampen zich in de hoogere gewesten van den dampkring verdichten, zoodat het meestal niet de wolken zijn, welke men in de lucht niet drijven,

die regen geven. Meermalen gebeurt het dat de wolken door haar eigen gewicht neerdalen, alzoo warmere luchtlagen bereiken en daardoor geheel worden opgelost. Zoo worden in den zomer en den herfst de morgennevelen dikwijls vervangen door helder weder op den middag, ten gevolge van de algemeene verwarming van den dampkring.

De hoeveelheid regen, die in eene bepaalde streek valt, hangt voor een groot deel af van de meerdere of mindere nabijheid der zee; op de kusten zijn de regens doorgaans menigvuldiger dan binnen in het vasteland. De hoeveelheid regen wisselt voorts af met de jaargetijden, en in het algemeen neemt zij toe met de temperatuur, hetgeen zich laat verklaren door eene sterke verdamping bij eene hoogere temperatuur. De meerdere of mindere warmte is evenwel niet de eenige oorzaak van de hoeveelheid regen, die er valt. In ons land bij voorbeeld regent het niet in den winter het minst, maar in de lente; in den zomer, wanneer er het meest regen valt, is die hoeveelheid ongeveer anderhalfmaal grooter dan in de lente. Het sterkst regent het in ons land in Augustus, het minst in Maart.

De hoeveelheid regen, die jaarlijks in eene bepaalde streek valt, neemt over het algemeen toe naarmate men den aequator nadert, zoo als blijkt uit de volgende tabel.

Gemiddelde hoogte van het gevallen regenwater gedurende 1 *jaar.*

Koppenhagen . .	0,468	ellen.	Utrecht	0,724	ellen.
Parijs	0,564	"	Madera	0,767	"
Bordeaux	0,650	"	Havanna.	2,320	"
Haarlem.	0,668	"	St. Domingo . .	2,730	"

Men ziet hieruit, dat op St. Domingo viermaal zooveel regen valt als in ons land. In sommige streken der woestijn van Sahara en van Nubië regent het daarentegen nimmer.

270. **Dauw.** Door *dauw* verstaat men de kleine waterdroppeltjes, die zich in kalme, heldere nachten op den grond en op de planten afzetten. Men neemt den dauw voornamelijk op het vlakke veld en op verhevene, uitstekende plaatsen waar; in de steden, in de nabijheid van huizen en onder de boomen, is de dauw daarentegen zeer zeldzaam.

Langen *tijd geloofde* men dat de dauw het gevolg was van

een fijnen regen, die ontstond door afkoeling van de lucht. Eenige natuurkundigen meenden zelfs dat de dauw uit den grond opkwam. De onjuistheid dezer voorstellingswijzen is het eerst aangetoond door Wells, een Schot, die in 1817 overleed, deze merkte namelijk op, dat de dauw zich niet gelijkelijk op alle ligchamen afzet, maar het meest op die, welke in de gelegenheid zijn het sterkst af te koelen. Hierdoor kwam hij tot de volgende theorie, welke thans algemeen aangenomen is.

De ligchamen aan de oppervlakte van den grond, na zonsondergang de warmte der zonnestralen missende, koelen meer en meer af, daar zij de gedurende den dag ontvangene warmte naar de hemelruimte uitstralen. Hierdoor daalt de temperatuur dezer ligchamen verscheidene graden onder die van den dampkring; de naastbij gelegene luchtlagen worden nu zelve door aanraking met die ligchamen afgekoeld tot het verzadigingspunt, en dit is oorzaak dat de opgeloste waterdamp zich in droppeltjes afzet.

Uit deze eenvoudige verklaring van het ontstaan van den dauw ziet men, dat hij zich te sterker op eenig ligchaam moet afzetten, naarmate dit meer warmte door uitstraling verliest, dat is, naarmate het uitstralend vermogen (zie 204) grooter is. Men bevindt ook inderdaad, dat er bijna geen dauw ontstaat op de metalen, wier uitstralend vermogen over het algemeen zeer gering is, terwijl de dauw zich overvloedig afzet op den grond, het zand, op glas en op de planten, wier uitstralend vermogen veel grooter is. Op sommige moeskruiden en vooral op de koolbladeren is de dauw zoo overvloedig, dat er niet alleen droppeltjes door ontstaan, maar zelfs geheele laagjes water, die de holligheid der bladeren opvullen. De invloed van het uitstralend vermogen op de vorming van den dauw is gemakkelijk aan te toonen door 's nachts eene glasruit en een stuk metaalblad aan de lucht bloot te stellen, op de eerste zal overvloedig, op het laatste in het geheel geen dauw ontstaan. Hetzelfde verschil heeft plaats bij een stuk wit en een stuk zwart laken.

De toestand van den dampkring kan ook de vorming van dauw begunstigen of tegenwerken. Bij helder en stil weder dauwt het het sterkst, maar bij eene bewolkte lucht stralen de wolken de warmte naar de aarde terug, de bodem wordt *dus minder afgekoeld* en er ontstaat geen dauw. Een sterke

wind verhindert ook zijn ontstaan, daar alsdan de luchtlagen te zeer in beweging zijn om zich aan de oppervlakte der ligchamen af te koelen; een zacht, vooral een vochtig windje daarentegen bevordert den dauw, door de lucht langzaam door andere te vervangen.

De *rijp* of *rijm*, die in het begin van de lente en tegen het einde van den herfst gevormd wordt, ontstaat op dezelfde wijze als de dauw, dat is te zeggen ten gevolge van de afkoeling der ligchamen door uitstraling. Maar een vereischte is dat de ligchamen zich tot onder het vriespunt afkoelen.

271. **Sneeuw, ijzel.** De sneeuw ontstaat, wanneer de waterdamp in de hoogere gewesten van den dampkring bevriest, waarbij kleine stervormige kristalletjes, met drie of zes op verschillende wijzen vertakte stralen, ontstaan; deze kristalletjes zijn zeer merkwaardig wegens hun fraaijen, regelmatigen vorm. In fig. 197 zien wij eenige vormen van deze ijskristallen voorgesteld, wanneer men ze door een vergrootglas op een zwarten grond beschouwt. Vele honderden van deze sneeuwfiguren kan men waarnemen.

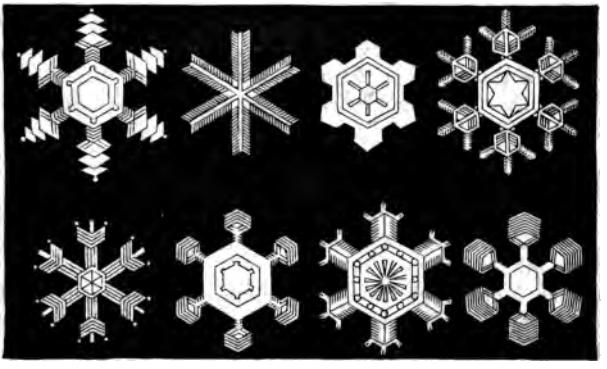


Fig. 197. Sneeuwfiguren.

Wanneer er sneeuw valt is de temperatuur der lucht niet ver van het vriespunt verwijderd. Bij eene grootere koude is de sneeuw minder overvloedig, omdat de hoeveelheid waterdamp, die in de lucht bevat is, afneemt naarmate de temperatuur *daalt.*

Het sneeuwt te meer op eene bepaalde plaats, naarmate deze dichter bij de polen of hooger boven de oppervlakte der zee gelegen is. Bij de polen is de grond het geheele jaar door met sneeuw bedekt; evenzoo op de hooge bergen, waar, zelfs in de heete luchtstreek, de toppen met eeuwigdurende sneeuw bekleed zijn; alleen is de onderste grens dezer sneeuw des te hooger, naarmate men dichter bij den aequator is.

De *ijzel* is samengesteld uit kleine naaldvormige ijskristalletjes, die aan elkander gehecht zijn en dikwijls met een doorschijnend ijslaagje omgeven worden. De ijzel schijnt een tusschentoestand te zijn tusschen sneeuw en hagel. Daar deze laatste waarschijnlijk ontstaat door electrische werkingen, zullen wij hierover handelen wanneer de electriciteit ter sprake komt.

OVER DE WINDEN IN HET ALGEMEEN.

272. **Namen der winden.** De *winden* zijn meer of minder snelle bewegingen van de lucht, die in den dampkring ontstaan. Men onderscheidt ze van elkander naar de hemelstreek vanwaar zij komen. Zoo zijn de winden, die uit de vier hoofdstreken waaijen, bekend onder de namen van *noordewind*, *oostewind*, *zuidewind*, *westewind*.

Tusschen deze vier richtingen zijn vier andere gelegen, die overeenkomen met den *noord-ooste*, *zuid-ooste*, *zuid-weste* en *noord-weste* wind. Eindelijk verdeelen de zeelieden ieder dezer acht richtingen nog in vieren, zoodat er in het geheel 32 richtingen zijn, die op de zoogenoemde *windroos* worden uitgedrukt. Op het land beschouwt men gewoonlijk slechts de acht voornaamste richtingen, die door de windwijzers worden aangetoond.

In onze luchtstreek waaijen sommige winden menigvuldiger dan andere. In Nederland is de zuid-weste wind de meest heerschende; de noord-ooste de zeldzaamste.

273. **Oorzaak der winden.** De ouden meenden, dat de winden hun ontstaan te danken hadden aan onderaardsche uitwaseming die (in sommige grotten) uit het binnenste der aarde opstegen. Volgens de fabelleer had Æolus, de god der winden, zijne woonplaats op een eilandje in de nabijheid van *Sicilië*, waar hij ze naar willekeur losliet of terughield.

Langen tijd geloofde men, dat alle winden ontstonden door

eene drukking in dezelfde richting waarin zij waaijen. Franklin, dezelfde over wien wij bij gelegenheid van de electriciteit zullen spreken, heeft het eerst aangetoond, dat er ook winden zijn, die door zuiging ontstaan, dat is die zich voortplanten in eene richting, tegengesteld aan die, waarin zij waaijen. Bij voorbeeld, wanneer men een blaasbalg in beweging brengt, ontstaan er twee winden, de eene door de lucht, die in den blaasbalg gedreven wordt, een wind door zuiging ontstaan; de andere ten gevole van de lucht die uitgedreven wordt, en dus door drukking.

In alle gevallen hebben de winden tot oorzaak temperatuursveranderingen in den dampkring, die uitzettingen of inkrimpingen van de lucht ten gevolge hebben, waardoor het evenwicht verbroken wordt, zoodat er een luchtstroom, dat is wind, ontstaat. Bij voorbeeld, wanneer de lucht boven eene zekere uitgestrektheid land meer verwarmd wordt dan boven de aangrenzénde streken, zal zij zich uitzetten, opwaarts stijgen en in de hoogere gewesten van den dampkring zijwaarts afvloeijen, daar ontstaat dus een wind, die waait in de richting van de warme naar de koude streek, een wind door drukking. In het onderste gedeelte van den dampkring integendeel stroomt er lucht van de omliggende streken naar de verwarmde plaats om de opgestegene lucht te vervangen, waardoor een wind ontstaat in tegengestelde richting van dien boven in den dampkring, maar nu is het een wind door zuiging.

274. **Regelmatige winden, periodieke winden, veranderlijke winden.** Met betrekking tot de standvastigheid of veranderlijkheid hunner richting onderscheidt men de winden, in regelmatige periodieke en veranderlijke winden.

Regelmatige winden. Regelmatige winden noemt men diegene welke het geheele jaar door in dezelfde richting waaijen. Men vindt ze alleen in de heete luchstreek, waar zij ongeveer de richting hebben van oost naar west. Zij zijn bekend onder den naam van passaatwinden. Het eerst werden zij opgemerkt door Cristoffel Columbus, aan wiens tochtgenooten zij groote vrees aanjoegen, daar deze meenden, dat zij nimmer naar de oude wereld zouden kunnen terugkeeren.

De passaatwinden strekken zich uit tot ongeveer 25° aan weerszijde van den aequator; ten noorden van dezen is hunne *richting noordoost*, *ten zuiden* van den aequator zuidoost, terwijl

op den aequator zelven meestal windstilte of stormen heerschen.

Periodieke winden. De periodieke winden zijn winden die op eene regelmatige wijze nu eens in de eene, dan weder in tegengestelde richting waaijen; voorbeelden hiervan zijn de *zee- en landwinden*, en de *moussons*.

De zeewind is een zacht windje, dat aan de kusten over dag van de zee naar het land waait, en zich 's nachts omkeert en overgaat in den landwind. De zeewind vangt gewoonlijk eenige uren na zonsopgang aan, en duurt voort tot zonsondergang, wanneer na eene korte stilte de landwind begint. Van deze zee- en landwinden maken de visschers gebruik om 's morgens in zee te steken en 's avonds de haven weder binnen te loopen.

In de heete luchtstreek waaijen de land- en zeewinden gedurende het geheele jaar; maar in de gematigde luchtstreek bestaan zij alleen in het warmste gedeelte, en het is bekend hoeveel zij daar bijdragen om de drukkende hitte van den zomer te matigen.

De tegengestelde richtingen van land- en zeewind zijn gemakkelijk te verklaren, wanneer men opmerkt, dat over dag het land meer verwarmd wordt dan het water; bij gevolg zet de lucht boven het land zich meer uit en stijgt naar boven, en het is de lucht, die van den kant der zee toestroomt om de opgestegene lucht te vervangen, die den zeewind veroorzaakt. Gedurende den nacht heeft het tegendeel plaats, omdat alsdan de grond meer afkoelt dan de zee, en dus boven deze laatste de lucht naar boven stijgt.

De *moussons*, aldus genoemd naar een arabisch woord, dat jaargetijde beteekent, zijn winden, die gedurende zes maanden in ééne richting waaijen en zes maanden in tegengestelde richting, waarom men ze ook *wisselwinden* noemt.

Men vindt ze alleen in de heete luchtstreek en voornamelijk in zeeën die groote inhammen in het land vormen, zooals de Arabische zee, de golf van Bengalen en de Chinesche zee. De mousson waait 's zomers van de zee naar het land, en 's winters in tegengestelde richting.

Veranderlijke winden. De veranderlijke winden zijn diegene, welke nu eens in deze, dan weder in eene andere richting *waaijen*, zonder dat wij de verandering hunner richting verklaren of vooruit bepalen kunnen. De winden worden des te

meer veranderlijk naarmate men zich meer van de heete luchtstreek verwijdert. In de gematigde luchtstreek zijn zij reeds tamelijk veranderlijk, maar in de koude luchtstreek wordt deze onregelmatigheid nog veel grooter.

275. **Samum, chamsin en harmattan.** In de woestijnen van Afrika en Azië waaijen gedurende verscheidene maanden van het jaar, bij uitstek heete en drooge winden, die dikwijls geheele wolken van fijn zand met zich voeren, waardoor de lucht verduisterd wordt Wanneer deze winden waaijen wordt de ademhaling versneld, men gevoelt een brandenden dorst, oogen en lippen worden pijnlijk aangedaan, en wanneer men geen zorg draagt zich het ligchaam met vet in te wrijven om de uitwaseming te verminderen, verdroogt de huid en valt in schilfers af.

In Egypte is de heete wind der woestijn bekend onder den naam van *chamsin*, naar een egyptisch woord, dat *vijftig* beteekent, omdat hij gewoonlijk 50 dagen aanhoudt, 25 dagen vóór en 25 dagen na de voorjaars-nachtevening. Dezelfde wind draagt den naam van *harmattan* op de kust van Guinea, en dien van *samum* of *semoun* op de kusten van Barbarije. De samum heeft dikwijls eene temperatuur van 50°. Wanneer de karavanen door dezen wind overvallen worden, bedekken de menschen zich het hoofd met dikke stoffen, en de kameelen keeren den stormwind den rug toe. Dezelfde wind kan het zand van de Sahara als de golven van den oceaan opjagen.

In Italië heerscht somtijds een wind, die zoo heet en verstikkend is, dat de dieren, die er aan blootgesteld zijn, omkomen. Wanneer deze waait blijven alle menschen in huis, terwijl men deuren en vensters zorgvuldig gesloten houdt. Sommigen beschouwen dezen wind, dien men *sirocco* noemt, als de voortzetting van den afrikaanschen samum; anderen meenen, dat hij boven de naakte rotsen van Sicilië zijnen oorsprong neemt.

276. **Snelheid der winden.** De snelheid der winden is zeer verschillend. Men kan haar meten, hetzij door de ruimte te meten, die de schaduw eener wolk op den grond doorloopt, hetzij met instrumenten waaraan men den naam van *anemometers* (windmeters) geeft. Deze bestaan uit kleine gevleugelde wieltjes, die door den wind worden rondgedraaid, en uit wier *snelheid zich de snelheid* van den wind laat berekenen.

Het zachte windje, door de dichters met den naam van *zefir* bestempeld, brengt ter nauwernood het gebladerte der boomen in beweging; zijne snelheid is ten hoogste eene halve el in de seconde. Een wind, wiens snelheid 2 ellen bedraagt, is *gematigd*, hij is *frisch* bij 10, *sterk* bij 20 el. Wanneer zijne snelheid 25 tot 30 ellen bereikt, is er een *storm*, en een *orkaan*, wanneer de snelheid 35 tot 45 el bedraagt. In ons land is de gemiddelde snelheid van den wind 5 of 6 el in de seconde.

HOOFDSTUK XIII.

BRONNEN VAN DE WARMTE EN KOUDE.

277. **Zonnewarmte.** De verschillende bronnen van warmte zijn: de zon, de electriciteit, de scheikundige verbindingen, de slag, de drukking en de wrijving.

Van al deze is zonder twijfel de zon de machtigste. De oorzaak van de warmte, die dit hemelligchaam uitstraalt, is onbekend. Sommigen houden de zon voor een gloeijend ligchaam, anderen houden haar voor eene groote bron van electriciteit, welke dan te gelijker tijd oorzaak zou zijn èn van de zonnewarmte èn van het zonlicht De eerste meening is de waarschijnlijkste.

Men heeft berekend, dat de hoeveelheid warmte, welke de aarde jaarlijks van de zon ontvangt, voldoende zou zijn om eene korst ijs rondom onze aarde te smelten van 30 meters dikte; en toch ontvangt de aarde, als men hare geringe afmeting en grooten afstand van de zon in aanmerking neemt, slechts een uiterst klein gedeelte van de warmte, die de zon in de ruimte rondom zich verspreidt.

De warmte als gevolg van de electriciteit zullen wij later behandelen.

278. **Scheikundige verbindingen en verbranding.** In de scheikunde zegt men, dat twee ligchamen verbonden worden, als zij zich ten gevolge van hunne wederkeerige affiniteit samen vereenigen. De roest, bij voorbeeld, die zich op ijzer vormt is niets anders dan eene verbinding van dit metaal met de *zuurstof der lucht*, om hetgeen men ijzeroxyde noemt te vor-

en. Nu zijn de scheikundige verbindingen doorgaans verge-
ld met vrijwording van meerdere of mindere warmte. Deze
niet waarneembaar als deze verbinding langzaam geschiedt,
oals het roesten van ijzer, wat wij zoo even noemden; zijn
verbindingen hevig en snel, dan ontstaat tevens groote
armte en zelfs licht.

Men noemt *verbranding* die chemische verbinding die verge-
ld gaat van warmte- en lichtverschijnselen. De verbranding,
e wij waarnemen in onze haarden en lampen, is niets anders
an eene verbinding van de koolstof en waterstof van het hout
van de olie met de zuurstof der lucht. Door deze verbin-
ng ontstaan waterdamp, koolzuur met nog andere vluchtige
roducten, die onder den vorm van rook ontsnappen. Het
een geheel verkeerd gezegde: *het vuur vernietigt alles.* Het
uur vernietigt *niets;* het maakt sommige grondstoffen vrij,
ie weer met andere verbindingen aangaan; het ontleedt, maar
ist hierdoor is het oorzaak van het ontstaan van andere stof-
n. Bij het verbranden van waterstofgas bijv. ontstaat water,
ij het verbranden van kool koolzuur. In één woord, een
randend ligchaam wordt wel omgezet, maar niet vernietigd.

De *vlam*, die bij de verbranding ontstaat, is een mengsel
an gasvormige stoffen op een hooge temperatuur ten gevolge
an chemische verbinding.

De *gisting*, door eene ontleding van organische stoffen ver-
orzaakt, doet ook warmte vrij worden. Dit is de reden van
et broeijen van het hooi, wanneer het nog vochtig in de ber-
en is ingereden. Dit broeijen kan zelfs brand doen ontstaan.

279. **Warmte, ontstaan door drukken en stooten.** Telkens
anneer een ligchaam samen gedrukt wordt, zoodat zijn volume
ermindert, ontstaat er warmte en wel des te meer naar ge-
ang zijn volume minder is geworden. Bij de vaste stoffen,
ie weinig samendrukbaar zijn, kan men dit ontstaan der
armte slechts in geringe mate gewaar worden; veelmeer neemt
nen het waar bij de gassen, die zoo samendrukbaar zijn.

Om de groote warmte, die bij het samendrukken van een
as ontstaat, aan te toonen, maakt men gebruik van een klein
verktuig, dat beschreven is bij fig. 4, pag. 13, en dat men
uchtvuurtuig zoude kunnen noemen. Het is een dikk
uis van onderen gesloten, waar hermetisch een le
er in past. Onder aan dezen zuiger is eene kl

waarin men een stukje zwam bevestigt. Drukt men nu plotseling den zuiger naar beneden, dan drukt of perst men de lucht samen en deze wordt nu zoo warm, dat het stukje zwam aangestoken wordt, waartoe eene temperatuur van ten minste 300° vereischt wordt.

De slag of stoot doet ook warmte ontstaan, zooals wij kunnen waarnemen bij de vonken, die van een vuurslag of van de hoefijzers der paarden springen, als zij tegen een steen stooten. Deze vonken zijn niet anders dan kleine ijzerdeeltjes, die door den schok los geraakt zijn, en in aanraking met de atmospheer verbranden ten gevolge van de hooge temperatuur, die hun door de drukking was medegedeeld. Het vuur springt niet uit den steen, zooals men gewoonlijk gelooft: het is een gevolg van de verbinding der metaaldeeltjes met de zuurstof der lucht, waardoor ijzeroxyde (ijzerroest) ontstaat.

280. **Warmte, ontstaan door wrijving.** Langdurige wrijving van een ligchaam tegen een ander doet eene hoeveelheid warmte vrij worden, die met de natuur van het ligchaam afwisselt, maar die te grooter is naarmate de drukking meerder en de beweging sneller is. Zoo loopen de assen der rijtuigen somwijlen warm door hare wrijving in de bossen der wielen. Men kan zelfs bij eene temperatuur onder 0° een stuk ijs gedeeltelijk doen smelten, door het met snelheid tegen een ander stuk ijs te wrijven. De wilden draaijen, om zich vuur te verschaffen, zeer snel een stukje hard hout tusschen de handen in eene holte, die zij in een zachter stukje hout gemaakt hebben; dit laatste wordt door deze wrijving zoo warm, dat het zelfs ontvlamt.

De door wrijving, slag of drukking ontwikkelde warmte kan men verklaren door eene trillende beweging, die aan de moleculen van het ligchaam wordt medegedeeld.

BRONNEN VAN KOUDE.

281. **Koude, ontstaan door uitzetting der gassen.** De voornaamste bronnen van koude zijn: 1°. de smelting, waarvan wij in § 224 de uitwerking gezien hebben; 2°. de dampvorming, die, zooals wij reeds weten (zie 238), genoeg koude doet onstaan om water en zelfs kwik te doen bevriezen; 3°. de uitzetting der gassen; 4°. de uitstraling in het algemeen en voornamelijk de uitstraling gedurende den nacht

naar de ruimte boven ons. De beide eerste bronnen van koude kennen wij reeds; wij zullen ons dus slechts met de beide laatste bezig houden.

De proef in § 279 toonde ons, dat de temperatuur der lucht sterk verhoogd wordt bij drukking: eene zekere hoeveelheid warmte, die *latent* in het gas aanwezig is en die in den staat van waarneembare warmte overgaat, naarmate het volume van het gas vermindert, is er de oorzaak van. Een omgekeerd verschijnsel nemen wij waar, als een gas door verminderde drukking zich uitzet; het gas neemt in volume toe en een gedeelte warmte daarin aanwezig gaat over van den waarneembaren in den *latenten* toestand. Hierdoor ontstaat eene vermindering in temperatuur, die zeer aanmerkelijk kan zijn.

Om dit te bewijzen perst men lucht samen tot eene drukking van 3 of 4 atmospheren, in den recipiënt van eene luchtperspomp, zoo als wij in fig. 116 gezien hebben. Opent men nu de kraan, die aan de bovenste plaat bevestigd is, zoo treedt de lucht dadelijk met geweld uit, terwijl zij een ligten damp medevoert. Deze laatste ontstaat door den waterdamp der atmospheer, die verdicht wordt door de afkoeling van de uitgezette lucht. Plaatst men in dezen luchtstroom den bol van een thermometer, dan wijst deze eene groote daling in temperatuur aan, en is de uitstroomende lucht vochtig, dan wordt de bol met een korstje ijs bezet. De damp, die in den luchtstroom ontstaat, geeft ons een beeld van de vorming der wolken, en het ijs, dat zich op den bol afzet, van de vorming der sneeuw.

282. **Koude, ontstaan door de uitstraling bij nacht.** Elke uitstraling van warmte door eenig ligchaam is eene oorzaak van afkoeling, omdat er verlies van warmte plaats grijpt. Over dag wordt dit verlies opgewogen door de warmte, welke de ligchamen van de zon ontvangen; maar 's nachts is deze afkoeling vrij wat aanmerkelijker. Vóór den middag ontvangt de aarde meer warmte dan zij uitstraalt, de temperatuur van den grond en van de lucht rijst dus. Dit gaat zoo door tot eenigen tijd na den middag en het is ongeveer te 2 uren des namiddags dat de temperatuur hare grootste hoogte bereikt. Later, door het schuins invallen der stralen, neemt deze verwarming af naarmate de zon meer den horizon nadert. Na het ondergaan der zon straalt de aarde de warmte, die zij des

daags heeft ogenomen, weer in de ruimte uit: de aarde en alle op hare oppervlakte geplaatste ligchamen verkoelen zich meer en meer tot 3 uren in den morgen des zomers en tot 6 uren in den morgen des winters, want op dezen tijd ongeveer heeft men in beide seizoenen de laagste temperatuur van den nacht.

Zoo als wij van den dauw sprekende, gezien hebben, worden de ligchamen door de uitstraling bij nacht des te kouder naarmate zij een grooter uitstralend vermogen hebben, naarmate zij hooger gelegen zijn, naarmate zij verder van een ander uitstralend ligchaam verwijderd zijn en eindelijk naarmate de lucht helderder is. Is de lucht met wolken bezet, dan kaatsen deze in warmtestralen, welke zij van de aarde ontvangen, weder naar de ligchamen op aarde terug, en bij gevolg is dan de afkoeling vrij wat minder. Men neemt waar dat in den winter, zelfs als de thermometer gedurende eenige dagen eene temperatuur van 5 of 6 graden onder 0 heeft aangewezen, de rivieren nog niet bevriezen als de hemel bewolkt is geweest; terwijl in minder strenge winters de rivieren vastvriezen als de hemel helder is.

Men zegt wel eens dat het harder vriest als de maan schijnt, dan als zij bewolkt is, en te recht: echter de reden van het harder vriezen ligt niet in de maan, maar in de afwezigheid der wolken.

De planten, die een sterk uitstralend vermogen hebben, koelen door de uitstraling bij nacht sterk af, en bevriezen zelfs. Daarom bedekt men ze dikwijls met matten enz. om de uitstraling tegen te gaan.

Wij voegen hier nog bij, dat het voornamelijk de uitstraling bij nacht is, die de nachtvorsten in April en Mei veroorzaakt, en niet het ruwe winderige weer in die maanden, zoo als men wel eens meent.

ZESDE BOEK.

HET LICHT.

HOOFDSTUK I.

VOORTPLANTING EN SNELHEID VAN HET LICHT.

283. Het licht, hypothesen over zijn wezen. Het *licht* is dat physisch agens, dat op het gezichtsorgaan werkende ons de voorwerpen doet aanschouwen. Het is niet alleen een onzichtbare band, die ons met alles wat ons omringt in betrekking stelt, het is daarenboven voor ons eene bron van oneindig genot, daar het, als het ware, afstanden vernietigt, den bol, welken wij bewonen, vergroot, en ons het tooneel der natuur, zoo rijk en zoo vol afwisseling voor oogen stelt.

Het gedeelte der natuurkunde, dat het licht behandelt, wordt *optica* genoemd naar een grieksch woord, dat *zien* beteekent Noemt men de beschouwing der warmte het meest nuttige gedeelte der natuurkunde, dan mag men die van het licht wel het schoonste en meest aantrekkelijke noemen.

Om de verschijnselen van het licht te verklaren hebben de natuurkundigen dezelfde hypothesen aangenomen als voor de warmte: de hypothese *der uitstrooming* (*emissie*) en die der *golving (undulatie)*. In de eerste heeft het licht tot oorzaak de *uitzending* of *uitstrooming* in alle richtingen door de lichtgevende ligchamen van een oneindig aantal uiterst kleine moleculen, die zich met ontzettende snelheid bewegen en die, in het gezichtsorgaan doordringende, er het verschijnsel van *het zien* voortbrengen.

Volgens de tweede theorie, die *der golvingen (undulaties)*, verspreiden de lichtgevende voorwerpen geene stof hoegenaamd, maar hunne moleculen bezitten eene uiterst snelle trillende beweging, welke zich mededeelt aan eene uiterst fijne, veerkrachtige vloeistof, welke men *aether* noemt. Deze stof is overal verspreid en doordringt de ligchamen, terwijl zij de tus-

schenruimten vult, die zich tusschen hunne moleculen bevinden. Het is dus slechts noodig, dat eene lichtbron, als de zon of eenig gloeijend ligchaam, den aether in trilling brengt in een harer punten, om die beweging allengs zich te doen voortplanten in alle richtingen en met eene buitengewone snelheid onder de gedaante van spherische golvingen, nagenoeg gelijk het geluid zich in de lucht door geluidsgolven voortplant. Deze lichtgolven zijn het, die, in het oog doordringende, ons den indruk van *licht* geven: dat wil zeggen dat het oog het licht gewaar wordt door de trillingen van den aether, even als het oor het geluid waarneemt door de golvingen der lucht. Men komt tot deze gevolgtrekking, dat de duisternis bij de leer van het licht gelijk staat met de stilte bij de leer van het geluid.

En de analogie gaat nog verder: evenals het aantal trillingen der lucht de hoogere of lagere toonen vormt, even zoo vormt het aantal trillingen van den aether de verschillende kleuren. Wij komen bij de behandeling der kleuren op deze verschijnselen terug, en wij zullen zien, dat het *violet* overeenstemt, als de hooge toonen, met het grootste aantal trillingen en het *rood*, als de lage toonen met het kleinste. Al dadelijk moeten wij hier doen opmerken, dat de trillingen van den aether, die het licht voortbrengen, oneindig veel talrijker en sneller zijn, dan die welke in de lucht het geluid doen ontstaan.

De theorie der golvingen *(de undulatie-theorie)* werd het eerst door Huygens, hollandsch natuurkundige, uitgesproken omstreeks het jaar 1678, en die der uitstrooming *(de emissie-theorie)*, door Newton in 1669. De groote naam van den laatstgenoemden natuurkundige en de schitterende ontdekkingen, die hij in de *optica* gedaan heeft, stelden langen tijd zijne theorie boven die der golvingen. De beroemde proeven van den jeugdigen franschen natuurkundige Fresnel van 1819 tot 1823 verzekerden echter aan de theorie der undulaties den voorrang, daar zij met even groote juistheid als eenvoudigheid de verklaring geeft van de meest samengestelde verschijnselen in de optica. Ook is na Fresnel deze theorie algemeen aangenomen.

284. **Lichtbronnen, phosphorescentie.** Elk ligchaam, dat bij *ons het gevoel* van licht opwekt, is eene lichtbron en wordt

lichtgevend ligchaam genoemd. De verschillende lichtbronnen zijn: de zon, de sterren, de warmte, de scheikundige verbindingen, de phosphorescentie en de electriciteit.

Men kent de oorzaak van het door de zon en de sterren uitgezonden licht niet. Alleen weet men, dat aan eene hooge temperatuur blootgestelde ligchamen lichtgevend worden en een des te sterker licht verspreiden, naarmate zij sterker verwarmd zijn, even alsof de warmte en het licht slechts wijzigingen van eene zelfde oorzaak zijn. Het is bij voorbeeld een gevolg van hare hooge temperatuur, dat de kolen in onze haarden gaan glimmen en dat de ijzeren staven uit een smidavuur getrokken een zoo levendig licht verspreiden. De warmtestralen zijn dan lichtstralen geworden, want zij doen het netvlies aan en wekken eene gezichtsaandoening op: dit zijn *lichtende* warmtestralen, de overige zijn *donkere*. Licht is zichtbare warmte. Het verschil bestaat slechts in de aandoening van ons gezichtsorgaan.

Wat het kunstlicht aangaat, als van kaarsen, lampen, gaspitten, het is toe te schrijven aan de *verbranding* van koolstof- en waterstof-houdende stoffen, dat is te zeggen, aan hare verbinding met de zuurstof der lucht, eene verbinding, die met eene zoo aanmerkelijke warmte-ontwikkeling gepaard gaat, dat de brandende stoffen lichtgevend worden (zie 278).

Men geeft den naam van *phosphorescentie* aan een bleek licht, dat sommige stoffen in het duister verspreiden, zonder dat er zelfs de minste warmte-ontwikkeling bij schijnt plaats te grijpen. De phosphorescentie neemt men waar bij dieren, planten en mineralen, Zomer 's avonds zien wij op onze velden den glimworm als een klein sterretje schitteren. In de tropische gewesten ziet men velerlei phosphoresceerende insecten in de lucht vliegen, als even zoovele kleine levende lantaarns. In die zelfde streken is de zee dikwijls bedekt met zeer kleine diertjes, die des nachts phosphoresceeren, vooral als het water bewogen wordt. Somwijlen zijn ook vermolmd hout, rottende visschen phosphoresceerend. Ook kan men door wrijving of door lang blootstellen aan de zonnestralen (insolatie) eenige mineralen in het donker lichtgevend maken: zoodanige zijn de diamant, het wit marmer, de groene vloeispaat. Men merkt dit ook op bij fossiele beenderen, bij tanden van zoogdieren en bij eijerschalen van vogelen, vooral de witte. De oor-

zaak van het phosphoresceeren is niet bekend; in vele gevallen schijnt het van electrischen oorsprong te zijn.

285. **Ondoorschijnende, doorzichtige, doorschijnende ligchamen; opslorping (absorptie) van licht.** De ligchamen, die door een lichtbron verlicht worden, bieden twee verschijnselen aan: sommigen, als hout, metalen, de meeste steenen, houden het licht geheel terug; anderen integendeel, als de lucht, gas, gepolijst glas, laten licht door. De eerste klasse omvat de *ondoorschijnende ligchamen* en de tweede de *doorzichtige* en *doorschijnende ligchamen*. *Doorschijnend* worden alle ligchamen genoemd, die licht doorlaten; terwijl alleen zij *doorzichtig* genoemd worden, door welke heen men de voorwerpen duidelijk kan onderscheiden. Zoo is gepolijst glas doorschijnend en doorzichtig; maar mat glas, geolied papier, dun porcelein zijn slechts doorschijnend, omdat men, hoewel zij het licht doorlaten, door hen heen de ligchamen niet kan onderscheiden.

Volkomen doorschijnend is geen enkel ligchaam, allen zuigen een gedeelte licht in, dat door hen heen moet gaan (*absorbeeren* een gedeelte). De proef toont aan, dat de meest doorschijnende middenstoffen, als lucht, water, glas, trapsgewijze het licht uitdooven, dat zij door moeten laten, en zoo hare dikte eenigszins aanmerkelijk is kunnen zij het in die mate verzwakken, dat het volstrekt geen indruk meer op het oog maakt. Bijv. men neemt waar dat op de toppen van hooge bergen het getal der met het ongewapend oog zichtbare sterren grooter is dan op het vlakke veld; een verschijnsel, dat zijn reden hierin vindt, dat in het eerste geval het licht eene mindere massa lucht heeft te doorloopen, dan in het tweede. Zoo schijnt ook de zon aan den horizon een minder sterk licht te geven, omdat dan hare stralen meer uitgestrekte en dikkere lagen lucht moeten doortrekken.

Evenmin als er volkomen doorschijnende voorwerpen bestaan, bestaan er volkomen ondoorschijnende, als men er namelijk platen of bladen van maakt die dun genoeg zijn. Het goud bijv., een van de meest dichte metalen, laat duidelijk licht door als het tot zeer dunne blaadjes gebracht is, zoo als de goudslagers ze vervaardigen. Dit zelfde heeft plaats met het zilver: door Faucault worden voor teloscopen spiegels van verzilverd *glas gemaakt*, die, ofschoon zij het licht volkomen terugkaatsen, *toch met* eene zoo dunne laag zilver bedekt zijn, dat

men er zeer goed doorheen kan zien en de voorwerpen onderscheiden; alleen men ziet de voorwerpen dan met eene lichte blauwe tint; door het goud heengezien is de tint groen.

286. **Schaduw.** Als een lichtgevend punt zijne lichtstralen op een ondoorschijnend ligchaam uitzendt (zie fig. 198), worden deze lichtstralen *onderschept*, en wij vinden aan de tegengestelde zijde van het ligchaam eene ruimte die van licht beroofd is: dit noemt men de *schaduw*. Plaatst men een scherm PQ achter het ligchaam, dan zal een gedeelte van dit scherm verduisterd worden, dit gedeelte is *het schaduwbeeld*. Om de grens van de schaduw te bepalen, brengt men door het lichtend punt S eene raaklijn langs het ligchaam en laat deze omwentelen, zorg dragende, dat zij steeds het ligchaam raakt, zoodat zij zoodoende een kegeloppervlak beschrijft. De snijding

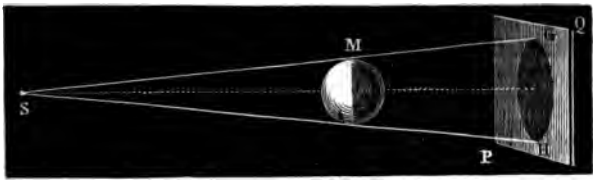


Fig. 198. Schaduw.

van het oppervlak van dezen kegel met het vlak van het scherm geeft ons de geometrische grens van de schaduw.

Komen de lichtstralen van een lichtend punt en gaan zij zoo langs de oppervlakte van een ligchaam, dan schijnen zij zich *in te buigen* naar bijzondere wetten; zoodat men licht vindt op de eigenlijke (geometrische) plaats van de schaduw, en schaduw op sommige punten van het verlichte gedeelte. Dat men gewoonlijk dit verschijnsel, bekend onder den naam van *diffractie*, niet waarneemt, komt daardoor, dat men zelden als lichtbron van een lichtend *punt* gebruik maakt, maar wel van een lichtend *ligchaam*, dat een oneindig aantal punten van uitstraling aanbiedt.

287. **Halfschaduw.** Beschouwen wij nu het geval, dat (zie fig. 199) een lichtende bol SL zijne stralen uitzendt in de richting van eenen ondoorschijnenden bol MN, dan kunnen wij ons eene rechte lijn voorstellen, die, raaklijn aan beide bollen zijnde, *om hen heen* wentelt, terwijl zij de lijn, die de middel-

punten vereenigt, in een punt A snijdt. Zij doet op deze wijze een kegeloppervlak ontstaan, dat dit punt A tot top heeft en dat achter den bol MN eene ruimte MGHN begrenst, welke geheel van licht beroofd is. Zoo nu eene tweede rechte lijn LD, de lijn, die de mindelpunten vereenigt, in B snijdende, ook tangentieel aan de beide bollen rondwentelt en zoo een nieuw kegeloppervlak BDC doet onstaan, ontwaart men als men de hierbijgaande figuur aanziet, dat de ruimte buiten

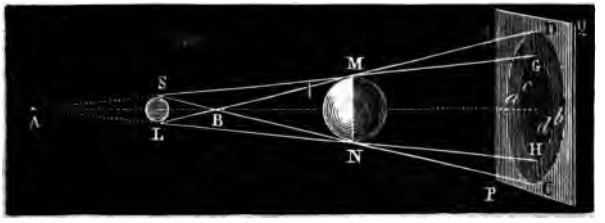


Fig. 199. Halfschaduw.

deze oppervlakte geheel verlicht is, maar dat het gedeelte tusschen de beide kegeloppervlakken begrepen, noch geheel van licht beroofd, noch geheel verlicht is. Plaatst men nu een scherm achter het ondoorschijnende ligchaam, dan is het gedeelte *c* G *d* H van dit scherm geheel in de schaduw. Het ringvormig gedeelte *a b*, zoo als men ziet, ontvangt licht van sommige punten van het lichtgevend ligchaam, maar ontvangt het niet van alle. Dit gedeelte van het scherm is dus *meer* verlicht dan de eigenlijk gezegde schaduw, maar *minder* dan het overige van het scherm: daarom geeft men hieraan den naam van *halfschaduw*. Het is aan de halfschaduw, die zich achter de aarde bevindt, wanneer deze door de zon verlicht wordt, toe te schrijven, dat bij de maansverduisteringen de verschillende punten van dit hemelligchaam zachtkens aan hun licht verliezen en niet plotseling verduisterd worden.

288. **Toepassingen.** Door het nabootsen van de verschillende tinten, welke de halfschaduw op verlichte voorwerpen voortbrengt, kunnen de schilders eene illusie te voorschijn roepen, door welke de door hen geschilderde voorwerpen ons *en relief* voorkomen. Eene vernuftige toepassing van de *halfschaduw* heeft men bij de zoogenaamde schaduwbeelden gemaakt.

en knipt eene kaart zoodanig uit, dat zij den omtrek van
nig voorwerp vertoont, en men maakt openingen in die kaart
ereenkomende met die plaatsen, die als geheel verlicht moe-
n voorgesteld worden. Houdt men deze kaart nu tusschen
ne kaars en een scherm, en wel zeer dicht bij het scherm,
n ziet men de schaduwen scherp afgeteekend. Verwijdert
en echter de kaart meer en meer van het scherm, dan wordt
halfschaduw zichtbaar en de tinten worden dan zacht ineen-
eijend, zoodat het beeld dan naar eene gedoezelde teeke-
ng gaat gelijken.

Men kan zich in sommige gevallen van de schaduw bedie-
n om de hoogten van gebouwen te meten, als men het
nt op de oppervlakte der aarde, waar de vertikaal, die uit
t hoogste punt is neergelaten, op neerkomt, kent. Men
eet dan de schaduw van dit punt uitgaande en vergelijkt
ze met de schaduw van eene vertikale lat van bekende
ngte. Daar de zonnestralen als evenwijdig kunnen aange-
erkt worden, zullen de hoogten tot elkander in reden staan
s de lengten der schaduwen. Deze methode om hoogten te
eten wordt toegeschreven aan Thales van Milete, die zoo
hoogten der obelisken in Egypte bepaalde, tot groote
erwondering van koning Amasis.

289. **Voortplanting van het licht in eene rechte lijn, lichtstraal lichtbundel.** Als wij spreken van de voortplanting van het
cht, noemen wij *middenstof* de stof zelve, in welke het voort-
eplant wordt: zoo zijn water, lucht, glas middenstoffen,
aarin het licht wordt voortgeplant. Daar de gesteldheid der
iddenstof den gang van het licht kan wijzigen, zullen wij
erst eene volkomen *homogene* middenstof veronderstellen, dat
il zeggen, niet alleen overal van dezelfde samenstelling, maar
ok van dezelfde dichtheid, voorwaarden waarvan de eene
onder de andere bestaan kan: de atmospheer bijv. heeft wel op
ene groote uitgestrektheid dezelfde samenstelling, maar niet
ezelfde dichtheid, door de ongelijkheid van temperatuur en
rukking, waaraan hare verschillende gedeelten zijn bloot-
esteld.

Door de proef kunnen wij aantoonen, dat *in elke homogene
iddenstof het licht zich steeds in eene rechte lijn voortplant.*
nderdaad, dadelijk, wanneer een ondoorschijnend ligchaam
isschen ons oog en eenig voorwerp geplaatst wordt, kunnen

wij dit voorwerp niet meer onderscheiden; zoo kunnen ook niet heenzien door de kleine gaatjes, die in drie schijnende plaatjes gestoken zijn, indien zij niet juist rechte lijn liggen. Laten wij ook nog opmerken, dat van eene lichtbron in alle richtingen uitgaat, want wij deze waarnemen, waar wij ons ook om haar plaatsen.

Deze uitstrooming van licht in alle richtingen om gevend ligchaam, noemt men evenals bij de warmte en men noemt *lichtstraal* de rechte lijn, volgens welke zich voortplant. In de hypothese der emissie is een gevormd door eene aaneenschakeling van lichtende die elkander onophoudelijk met eene ontzettende volgen: in die der undulaties is zij eene aaneen van moleculen, die elkaar niet opvolgen, maar die zich zelf uiterst snelle trillingen volbrengen.

Men noemt *lichtbundel* eene vereeniging van lichtstralen dezelfde lichtbron. Als de stralen onderling evenwijdig en dit heeft plaats wanner het lichtgevend voorwerp ver verwijderd is, spreekt men van een *parallellen* licht hij is *divergeerend* als de lichtstralen, terwijl zij zich planten, zich van elkander verwijderen; dit heeft plaats de stralen, die van eene lamp of eene kaars uitgaan; de stralen naar een zelfde punt samenkomen noemt men bundel *convergeerend:* bij de spiegels en lenzen zullen wij voorbeelden van zien.

290. **Snelheid van het licht.** Niets op onze aarde kan een denkbeeld geven van de ontzettende snelheid, waarmede licht zich voortplant. Men kan geen tijdsverloop waar tusschen het oogenblik, waarop een kunstlicht op eenige ontstoken wordt, en het oogenblik, waarop het op eene plaats wordt waargenomen: de snelheid van het licht men dan ook het eerst uit sterrekundige waarnemingen nen bepalen.

Römer, een deensch sterrekundige, was de eerste, d 1675 deze snelheid bepaalde uit de waarneming van de e sen der wachters of manen van Jupiter. Hij vond snelheid van 308000 Ned. mijlen, d. i. eene snelheid ongeveer 54000 uren gaans in de seconde. Jupiter heeft manen, die hem in zijn [illegible] de zon vergezellen, eve de maan onze aarde [illegible] ergezelt. De eerste

. dat is die, welke het dichtst bij Jupiter is, maakt
teling om de planeet in een tijdsverloop dat steeds
ı 42 uren 28 minuten en 36 seconden; maar bij
ıteling komt deze satelliet *e* in de schaduw achter

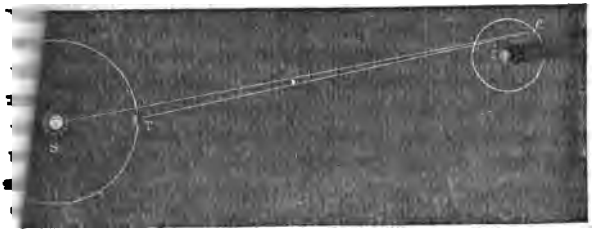


Fig. 200. Bepaling van de snelheid van het licht.

(fig. 200), zij is dus steeds na gelijke tijdruimten
terd.
ang de aarde in hare baan het dichtst bij Jupiter is,
onze teekening aanwijst, komen die verduisteringen ge-
om de 42 uren, 28 minuten en 36 seconden terug;
naarmate de aarde, om de zon wentelende, zich van de
't verwijdert, neemt het tijdsverloop tusschen twee ver-
ringen toe: en wanneer de aarde na verloop van 6 maan-
'an haren stand T in dien van *t* is gekomen, neemt men
vertraging waar van 16 minuten en 36 seconden. De
ɜ is nu verder van Jupiter verwijderd en wel zooveel verder
,weemaal de afstand bedraagt van de aarde tot de zon,
laar dit een afstand is van 152 millioen mijlen, maakt men
uit op, dat het was om den afstand T*t* van 304 milli-
mijlen te doorloopen, dat er eene tijdruimte noodig was
ı 16 minuten en 36 seconden of 996 seconden: hetwelk
verbazende snelheid van de voortplanting van het licht
ɜt kennen van 308000 mijlen in de seconde.
Om deze snelheid eenigszins te kunnen schatten moeten wij
ɜn opmerken, dat om de ruimte tusschen de aarde en de
ı te doorloopen, het licht zoude behoeven 8 min. 18 sec.,
wijl een kanonskogel, met dezelfde snelheid voortgaande waar-
e hij het kanon verlaat, er 17 jaren voor zoude no[illegible]
ɔben, en men met de gewone snelheid onzer spoort

zonder ophouden doorrijdende er 3 en een halve eeuw voor zoude behoeven.

Niettegenstaande deze ontzettende snelheid zijn de sterren die aan het uitspansel flonkeren op zoo grooten afstand van ons verwijderd, dat voor de naastbij zijnde het licht toch nog meer dan drie jaren noodig heeft om zich tot ons voort te planten. Wat de sterren aangaat, die alleen met het gewapend oog kunnen waargenomen worden, men bewijst in de sterrekunde, dat er zijn op zoo grooten afstand, dat haar licht duizenden van jaren noodig heeft om tot ons te komen. Deze kunnen dus sedert eeuwen verdwenen zijn; terwijl wij nog voortgaan haar te zien en te berekenen.

291. **Intensiteit van het licht; photometers.** De *intensiteit* van eene lichtbron, dat is de sterkte van haar licht, wordt gemeten door de hoeveelheid licht, welke zij verspreidt op eene bepaalde oppervlakte, bijv. op een scherm van een vierk. meter oppervlakte. Ten gevolge van het divergeeren van de lichtstralen van eene zelfde bron, neemt deze hoeveelheid licht, deze intensiteit spoedig af, als het verlicht wordend ligchaam zich van de lichtbron verwijdert. Men kan aantoonen dat *de intensiteit van het licht omgekeerd evenredig is aan het quadraat van den afstand*, dat wil zeggen, dat op dubbelen afstand het verlicht wordend ligchaam viermaal minder licht ontvangt, bij drievoudigen afstand negenmaal minder, enz.

Men toont deze wet door een instrument aan, dat bekend is onder den naam van *photometer*, dat is *lichtmeter*. Vele natuurkundigen hebben zoodanige instrumenten uitgedacht. Wij zullen dien van Rumford beschrijven. Hij bestaat uit een matglazen plaat A, vertikaal op een houten plankje bevestigd, zie fig. 201. Vóór deze plaat bevindt zich een ondoorschijnend staafje B, en aan de andere zijde bevinden zich de lichten, die men wil vergelijken, zoodanig geplaatst, dat de schaduw van het staafje valt op de matglazen plaat. Men neemt waar, dat de schaduwen juist even donker zijn als de twee lichten even sterk en op gelijke afstanden geplaatst zijn: maar zoo een van de lichten veel sterker is, dan is de schaduw ook zoo veel te donkerder, en in dit geval moet men, om schaduwen te verkrijgen, die even donker zijn, langzamerhand het sterkste licht achteruit schuiven.

Terwijl wij de inrichting van den photometer van Rumford

ıen, laat ons nu zien hoe door de proef de wet beves-
wordt, dat het licht omgekeerd evenredig is aan het
draat van den afstand. In een volkomen duister vertrek
ıtst men eene kaars voor den photometer, op willekeurigen

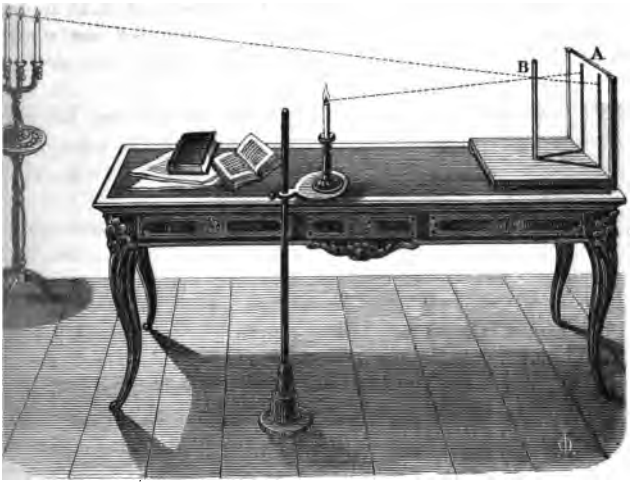


Fig. 201. Photometer van Rumford.

ınd, bijv. 1 meter; tevens brengt men op dubbelen afstand
kaarsen geheel gelijk aan de eerste, zooals wij in de figuur
. Nu zien wij, dat de beide schaduwen op de glazen plaat
donker zijn, en dit bewijst dat vier kaarsen op twee
ers afstand niet meer licht geven dan ééne kaars op één
er afstand. Doen wij de proef met negen kaarsen op drie
ers afstand, dan zien wij wederom, dat zij juist zooveel
geven als ééne kaars op één meter afstand.

Ij moeten hier wel doen opmerken, dat het door het
rgeeren der lichtstralen is, dat de intensiteit van het licht
emt naarmate zijn afstand toeneemt. Voor evenwijdige
en zoude dit afnemen in intensiteit niet meer plaats grij-
de sterkte van het licht zoude op alle afstanden gelijk
uitgezonderd het verlies aan licht dat uit de absorptie,
door de meest doorschijnende middenstoffen, voortkomt

HOOFDSTUK II.

TERUGKAATSING VAN LICHT, SPIEGELS.

292. **Wetten der terugkaatsing van het licht.** Als een lichtbundel eene gepolijste oppervlakte ontmoet, die hem houdt, wordt het licht hierdoor niet vernietigd; maar elastisch voorwerp door de oppervlakte teruggezond

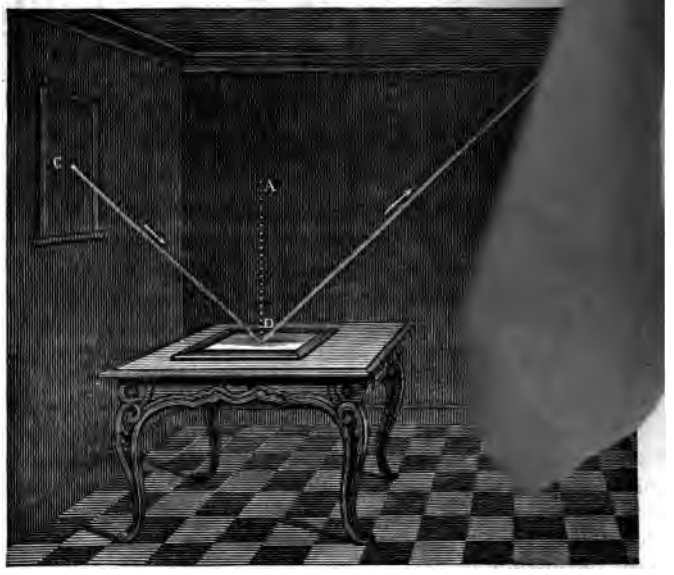


Fig. 202. Terugkaatsing van het licht.

andert het van richting: dit verschijnsel is het, dat onder den naam van *terugkaatsing van het licht* bekend is.

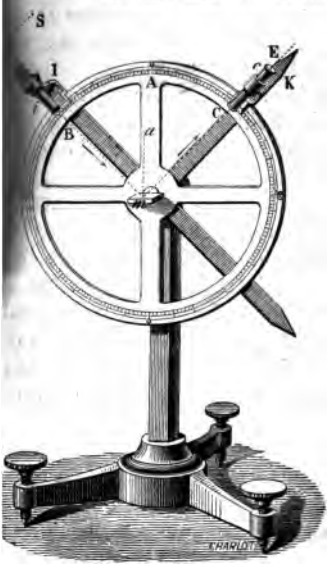
Indien men bijvoorbeeld door eene opening in het luik een zonnestraal CD in eene donkere kamer doet intreden, en zoo men dezen straal opvangt op een vlakken spiegel (zie fig. 202) dan wordt deze lichtbundel teruggekaatst in de richting DB en vormt hij tegen den zolder een beeld, waarover wij bij de *chambre obscure* nader spreken.

Even als bij de terugkaatsing van de warmtestralen noemt

invallenden straal elken lichtstraal, die op eene weerkaat-
oppervlakte valt; *teruggekaatsten straal*, die door deze
vlakte wordt teruggekaatst: *normaal*, de loodlijn neerge-
op het terugkaatsende vlak in het punt, waar de terug-
ing plaats grijpt; eindelijk noemt men hoeken van invalling
n terugkaatsing, de hoeken die door den invallenden en
gekaatsten straal met de normaal gemaakt worden.

terugkaatsing van het licht geschiedt altijd volgens de
volgende wetten, die dezelfde zijn als voor de warmte:
De hoek van inval is gelijk aan dien van terugkaatsing,
De terugkaatsing heeft slechts in eene zoodanige richting
, *dat de invallende en de teruggekaatste straal steeds zijn*
vlak, *loodrecht op de terugkaatsende oppervlakte.*

deze wetten aan te toonen, maakt men gebruik van het instrument, dat voorgesteld wordt in fig. 203. Het bestaat uit een koperen cirkel, die in graden verdeeld is en die vertikaal staat op een drievoet met stelschroeven. Bij A vindt men het nulpunt der verdeeling, die en naar rechts en naar links doorgaat tot 90°. Twee koperen linealen I en K kunnen vrij draaijen om een as, die achter het midden van den cirkel gelegen is. Deze linealen dragen twee buisjes *i* en *c* die juist naar het middelpunt gericht zijn, en die ieder voor zich den invallenden en den teruggekaatsten straal moeten doorlaten. Verder vindt men nog M, dat men naar wille-



203. Instrument ter aantooning
an de wetten der terugkaatsing.

n lineaal I een vlak spiegeltje
kan *doen hellen.*

Verwijdert men nu de lineaal I een weinig van het nulpunt, dan geeft men aan den spiegel M eene helling zoodanig dat een straal S door hem teruggekaatst juist komt te vallen door de buis *i* op een vlak spiegeltje *m* dat horizontaal in het midden vóór den cirkel staat. Hier wordt die straal teruggekaatst en neemt eene richting *m* E aan. Nu brengt men de hand aan den lineaal K en doet deze het punt A meer of minder naderen, totdat de teruggekaatste straal juist door het buisje *e* valt. Leest men nu het aantal graden van de bogen A B en B C af, dan ziet men dat deze gelijk zijn. Dit is dus ook het geval voor de hoeken van invalling en terugkaatsing B*ma* en *am*C, die door deze bogen gemeten worden.

De tweede wet wordt door dit instrument ook bewaarheid, want de assen van de buisjes *i* en *c* liggen in één zelfde vlak evenwijdig aan dat van den koperen cirkel en dus ook loodrecht op de oppervlakte van het kleine spiegeltje *m*, waarop men zich de normaal *m a* opgetrokken voorstelt

In de bovenstaande figuren heeft men door pijltjes de richting aangewezen, waarin het licht zich voortplant: in de volgende figuren zullen eveneens pijltjes dit steeds tot meerdere duidelijkheid voor den lezer aanwijzen.

293. **De terugkaatsing van het licht is nooit volkomen.** Het op een gepolijst voorwerp vallend licht wordt nooit geheel teruggekaatst; altijd wordt een gedeelte licht uitgedoofd, dat geabsorbeerd wordt door de terugkaatsende oppervlakte. Bijv. stelt men door 100 het invallend licht voor, dan zal het teruggekaatste gedeelte voorgesteld moeten worden door 80, 90, 95, al naar den aard en de wijze van polijsting van het terugkaatsende ligchaam, maar nooit zal het uitgedrukt kunnen worden door 100.

De beste reflectoren (terugkaatsende ligchamen) zijn de gepolijste metalen, vooral wanneer zij wit zijn, als kwik, zilver en zilver. De zwarte ligchamen kaatsen geen licht terug. De doorschijnende ligchamen kaatsen weinig licht terug, absorbeeren meer of minder naar hunne dikte en laten het overige door; dit heeft plaats bij lucht, water, glas en de overige doorschijnende middenstoffen.

Voor eene zelfde stof vermeerdert de hoeveelheid van teruggekaatst licht niet alleen met den graad van polijsting, maar ook met de schuinte der invallende stralen. Bijv. indien men

in zeer schuinsche richting naar een vel wit papier ziet, dat voor eene waskaars ligt, dan is de hoeveelheid teruggekaatst licht wel zoo aanmerkelijk, dat men een bleek, flauw beeld van de vlam kan zien: vallen de stralen minder schuins in, dan heeft dit geen plaats

294. **Onregelmatige terugkaatsing, diffuus licht.** De terugkaatsing, die volgens beide bovengenoemde wetten (zie 292) aan de oppervlakte van gepolijste voorwerpen plaats grijpt, noemt men *regelmatige terugkaatsing*, ook wel *spiegeling*. Hebben de voorwerpen eene ruwe oppervlakte, dan is de terugkaatsing *onregelmatig*, dat wil zeggen, zij gehoorzaamt niet meer aan de beide bovengenoemde wetten Vangt men (zie figuur 202) den lichtstraal C D niet meer op een spiegel op, maar op een dof, mat, ongepolijst voorwerp, dan is dit niet alleen zichtbaar in de richting D B, die overeenkomt met de regelmatige terugkaatsing, maar men neemt het waar, waar men zich ook in de kamer plaatse, en op welke hoogte ook: waaruit men besluit, dat er licht teruggekaatst is in alle richtingen en in alle hellingen, hetgeen niet overeenkomt met regelmatige terugkaatsing.

Dit verschijnsel is bekend onder den naam van *diffusie*. Men noemt het licht dan *verstrooid*, *diffuus*, en men verklaart het uit den toestand van het ligchaam zelf, waarvan de oppervlakte, als zij ruw is, ontelbaar vele terugkaatsende vlakken aanbiedt, die allen min of meer in deze of gene richting hellen en zoo doende het licht in alle richtingen terugkaatsen.

Het diffuus licht speelt eene groote rol in het verschijnsel van het zien. Terwijl de lichtgevende ligchamen door zich zelven zichtbaar zijn, zijn de donkere ligchamen dit slechts door het diffuus licht, dat zij in alle richtingen terug zenden. Als wij een meubel, eene schilderij, eene bloem beschouwen, dan is het het verstrooide licht, van alle punten van deze ligchamen teruggekaatst, dat maakt dat wij ze kunnen zien, in welke richting wij ons ook mogen plaatsen ten opzichte van het licht, dat hen beschijnt. Kaatsten de donkere ligchamen het licht alleen regelmatig terug, dan zouden wij die ligchamen niet zien, maar als spiegels werkende zouden zij ons alleen het beeld toonen van het lichtend voorwerp, waarvan zij ons het licht terugkaatsen: kaatsten zij in het geheel geen licht terug, dan zouden zij allen ons even zwart voorkomen en hunne omtrekken zouden zich verwarren, zoodat wij ze niet

zouden kunnen onderscheiden. Bijv. twee ligchamen, het eene wit, het andere zwart, zijn in de duisternis even onzichtbaar, omdat het witte voorwerp, geen licht ontvangende, het dus ook niet kan terugkaatsen. Eindelijk is het het diffuus licht door de lucht, de wolken, den grond teruggekaatst, dat onze vertrekken verlicht en al de ligchamen, die niet onmiddellijk aan de zonnestralen zijn blootgesteld; en hoe meer een ligchaam ons diffuus licht toezendt, des te juister kunnen wij het onderscheiden. Bijv. als wij in huis zijn, kunnen wij best de voorwerpen daar buiten onderscheiden, omdat die sterk verlicht zijn; maar buiten staande kunnen wij slechts onduidelijk de voorwerpen, die in het vertrek staan, waarnemen, omdat deze slechts weinig licht ontvangen.

295. **Richting, volgens welke wij de voorwerpen zien.** Wanneer een lichtbundel in eene rechte lijn van een voorwerp naar ons oog komt, zien wij dit voorwerp juist daar, waar het zich bevindt; maar indien door de terugkaatsing, of door eene andere reden, de lichtbundel van zijn weg afwijkt, indien hij niet in eene rechte lijn tot ons komt, zien wij het voorwerp niet meer op de plaats, waar het is, maar *in die richting, welke de lichtbundel heeft op het oogenblik, dat hij in het oog treedt.* Bijv. zoo de lichtbundel A B (fig. 204) in B van zijn weg afwijkt, om de richting B C aan te nemen, ziet het oog het punt A niet in A, maar in *a*, in de verlenging van C B.

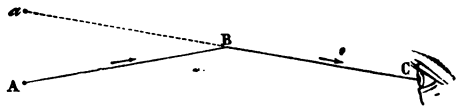


Fig. 204.

Hoe eenvoudig deze wet ook schijne, zij verdient de aandacht van onze lezers, daar op haar de talrijke proeven met spiegels en lenzen steunen.

SPIEGELS.

296. **Vlakke spiegels.** Men noemt *spiegel* elk goed gepolijst voorwerp, dat het licht regelmatig terugkaatst, terwijl het een beeld doet zien der voorwerpen, die men er vóór houdt. Men onderscheidt twee soorten: *vlakke* en gebogen spiegels.

Als voorbeeld van de vlakke spiegels kunnen wij de spiegels noemen, die onze vertrekken versieren. Bij deze spiegels, die uitwendig uit glas bestaan, is het niet deze stof, die het licht in genoegzame mate terugkaatst om juiste en duidelijke beelden te vormen; het is eene metaalbedekking aan de achtervlakte van het glas. Deze laag, het *verfoeliesel*, is een *amalgama* van tin, dit is een alliage van dit metaal met kwik. Het glas geeft aan dit metaal slechts de noodige gladheid, het polijstsel, en bewaart het tegen de invloeden van buiten, die het zouden kunnen aantasten.

Men vervaardigt ook metalen spiegels van goud, zilver, staal en tin. Maar allen hebben het groote gebrek, dat zij in aanraking met de lucht dof worden. De zilveren spiegels waren veel in gebruik bij de Romeinen. Men kan niet tot den oor-

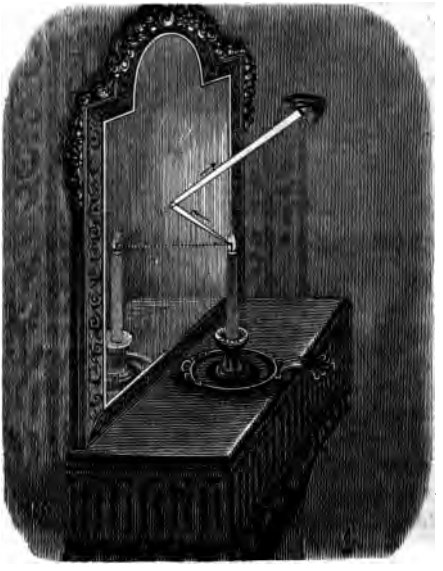


Fig. 205. Lichtbundel in een vlakken spiegel teruggekaatst.

sprong der spiegels opklimmen. De eerste is zonder twijfel de *oppervlakte van helder* water geweest. Die van metaal schij-

nen tot de hoogste oudheid te behooren, want reeds in boek *Exodus* wordt melding gemaakt van een koperen w vat door Mozes gemaakt uit de spiegels, welke de Israëlieti vrouwen hem aanboden. (Exod. XXXVIII: 8.)

297. **Vorming van beelden in vlakke spiegels.** Men n *vlakke spiegels* zulke, waarvan de oppervlakte vlak is, z de spiegels in onze vertrekken. Om het vormen van bee in zulke spiegels te begrijpen, zullen wij eerst het geva schouwen, waar wij vóór zulk een spiegel een voorwerp p sen van zeer kleine afmeting, bijv. de vlam eener kaars fig. 205). Een divergeerende lichtbundel gaat van deze uit, valt op den spiegel en wordt teruggekaatst, zooals teekening doet zien. Nu volgt uit de wetten der terug

Fig. 206. Vorming van beelden in vlakke spiegels.

sing, dat iedere straal van dezen bundel, ten opzichte *den spiegel*, na de terugkaatsing dezelfde helling houdt *hij te voren had.* Hieruit volgt dat het divergeeren va

teruggekaatste stralen even groot is als van de invallende stralen. Bij gevolg, indien men nu aanneemt, dat de teruggekaatste bundel tot achter den spiegel verlengd wordt, zullen al de stralen, die hem samenstellen, in één punt samenloopen. En daar wij nu de voorwerpen steeds zien in de richting, welke de lichtstralen hebben als zij ons oog bereiken (295), volgt hieruit, dat het oog, dat den teruggekaatsten bundel ontvangt, de vlam van de kaars moet zien achter den spiegel, op die plaats waar de verlengde stralen samenkomen. Daar wordt dan ook het beeld gevormd, zooals wij in de figuur zien.

Nemen wij nu in de plaats van een zeer klein voorwerp, dat voor een spiegel geplaatst is, een voorwerp van welke afmeting ook, dan zal het, om de vorming van een beeld hier te verklaren, voldoende zijn om op elk van de deelen van dit voorwerp toe te passen wat van een enkel lichtend punt gezegd is. Bijv. in fig. 206 ziet men den lichtstraal, die van den linkervoet uitgaat, terugkaatsen in den spiegel en terugkomen naar het oog, om daar den rechtervoet van het beeld te toonen. Zoo geeft ook de lichtstraal, die van de rechterhand uitgaat, na teruggekaatst te zijn, aan het oog het beeld van de linkerhand te zien, en zoo vervolgens voor al de punten van den persoon en de kleeding.

298. **Eigenschappen van de beelden, die in vlakke spiegels gevormd zijn.** Wij zagen, dat, voor een spiegel staande, onze linkervoet overeenkomt met den rechtervoet van het beeld, onze rechterhand met de linkerhand van dat beeld, en zoo vervolgens. Deze overbrenging van de deelen van het beeld ten opzichte van die van het voorwerp zoude men onjuist uitdrukken, door te zeggen, dat het beeld omgekeerd was: indien het beeld niet anders was dan het omgekeerde voorwerp, zoude het beeld, wanneer wij onze rechterhand bijv. opligten, ook de rechterhand moeten opheffen, terwijl het juist de linkerhand is, die opgeheven wordt.

Om deze bijzondere overeenkomst uit te drukken, die bestaat tusschen beeld en voorwerp, zegt men dat het beeld *symmetrisch* is met het voorwerp: dat wil zeggen, dat elk punt van het beeld achter den spiegel geplaatst is juist op dezelfde wijze als vóór den spiegel elk punt van het voorwerp. Men kan dan *ook meetkundig* bewijzen, dat deze twee punten even ver

van den spiegel af liggen en gelegen zijn op eene zelfde rechte lijn, die loodrecht op de oppervlakte is. Uit den afstand en de betrekkelijke stelling van de verschillende deelen van het voorwerp en zijn beeld leidt men ook nog af, dat het beeld even groot als het voorwerp en even ver van den spiegel verwijderd is.

Eindelijk zijn de beelden in vlakke spiegels *virtueel*, d. i. *schijnbaar;* zij bestaan niet in werkelijkheid, zij zijn slechts eene verbeelding van het oog. Wij zien het in fig. 206 en fig. 205 komt het licht niet achter den spiegel en kan dáár dus geen beeld vormen, en dat, hetwelk wij zien, bestaat niet: men drukt dit uit door het een *schijnbaar*, *virtueel* beeld, in tegenstelling met een *werkelijk*, *reëel* beeld te noemen.

Vatten wij het hierboven gezegde samen, dan zien wij, dat *de door vlakke spiegels gevormde beelden zijn symmetrisch met het voorwerp, even groot als dit, op gelijken afstand als dit achter den spiegel en eindelijk, dat zij virtueel zijn.*

299. **Veelvoudige beelden in glazen spiegels.** Daar de metalen spiegels slechts één terugkaatsend oppervlak hebben, geven zij slechts een eenig beeld: dit heeft niet plaats bij de glazen spiegels; hier kaatsen twee oppervlakten terug, maar ongelijk. Breng eens eenig voorwerp, bijv. de punt van een potlood tegen een dikken glazen spiegel en zie schuins naar deze punt: dan ziet gij vooreerst een zeer zwak beeld dat aan deze punt raakt en daarachter ziet gij een ander veel sterker beeld. Het eerste beeld ontstaat door de terugkaatsing op de voorvlakte van den spiegel, dat is op het glas, terwijl het tweede gevormd wordt door het licht, dat door het glas heengaande op de laag verfoeliesel teruggekaatst wordt, waarmede de achtervlakte van den spiegel bekleed is. Het verschil in sterkte van deze beide beelden kan men gemakkelijk verklaren; het glas is zeer doorschijnend, daarom wordt op de eerste vlakte van den spiegel slechts weinig licht teruggekaatst, dit teruggekaatste licht geeft dan ook het zwakste beeld; het grootste gedeelte van het invallend licht dringt door het glas heen, wordt op het verfoeliesel teruggekaatst en geeft het sterkste beeld.

Genoemde proef geeft een eenvoudig middel aan de hand om de dikte van een spiegel te meten. Het sterkste beeld *schijnt ons* toe achter het verfoeliesel gelegen te zijn even ver *als de punt* van het potlood er voor is. De afstand van de

punt van het potlood en van haar beeld leert dus de dubbele dikte van den spiegel kennen. Schijnt ons die afstand zes millimeters toe, dan besluit men hieruit, dat het glas van dezen spiegel drie millimeters dik is.

Deze dubbele terugkaatsing bij de glazen spiegels schaadt aan de scherpte der beelden; daarom maakt men bij optische instrumenten gewoonlijk gebruik van metalen spiegels.

300. **Terugkaatsing der doorschijnende voorwerpen.** Wij zagen, dat het glas, niettegenstaande zijne groote doorschijnendheid, toch genoeg licht terugkaatst om beelden te vormen, wel is waar zwak, maar toch scherp van omtrek. Dit is ook het geval met water en andere doorschijnende vloeistoffen. Bijv. aan den oever van een vijver, van eene rivier, zien wij een omgekeerd beeld gevormd worden van de voorwerpen, die zich aan den tegenovergestelden oever bevinden. Wij zeggen *omgekeerd*

Fig. 207. Terugkaatsing op de oppervlakte van water.

beeld, omdat het ons zoo toeschijnt, wij moesten eigenlijk *symmetrisch* beeld zeggen, naar de opmerking die wij in 298 gemaakt hebben.

Men heeft in fig. 207 de terugkaatsing op eene water-oppervlakte voorgesteld: wij zien hoe de teruggekaatste stralen, in het oog van *beneden* naar boven komende, een beeld vormen.

van de voorwerpen, die zich boven het water bevinden, evenzoo als zij dit zouden doen, als zij op een horizontalen spiegel teruggekaatst werden.

GEBOGEN SPIEGELS.

301. **Holle spiegels.** Men heeft verschillende soorten van gebogen spiegels: het meest in gebruik zijn de *spherische spiegels*, *bolvormige spiegels*, dat zijn zij, waarvan de kromming gelijk aan die van eenen bol is. Zij zijn van metaal of van glas, en *concaaf (hol)* of *convex (bol)*: een bol horologie-glas van boven gezien, geeft ons een voorbeeld van een *convexen* spiegel en dit te meer als het aan de binnenzijde verfoelied is; hetzelfde glas van buiten verfoelied en van binnen gezien is een voorbeeld voor een *concaven* spiegel.

Eerst zullen wij dezen laatsten spiegel leeren kennen: wij zullen er eene *doorsnede* van beschouwen, dat is de figuur die wij verkrijgen als wij den spiegel in twee gelijke deelen doorsnijden. Laat MN de doorsnede zijn van een hollen spherischen

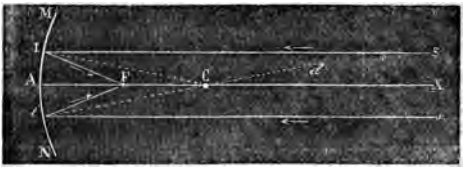


Fig. 203. Doorsnede van een hollen spiegel.

spiegel en C het middelpunt van den bol, waartoe hij behoort. Dit punt geeft men ten opzichte van den spiegel den naam van *middelpunt van kromming*: het punt A, het punt midden in den spiegel, wordt *figuurs-middelpunt* genoemd; eindelijk wordt de rechte lijn ACX, die door het krommings-middelpunt en het figuurs-middelpunt getrokken is, de *hoofd-as* van den spiegel genoemd. Elke rechte lijn *i* C *d*, die door het middelpunt van kromming gaat, zonder door het figuurs-middelpunt te gaan, wordt *neven-as* genaamd. Er is slechts ééne hoofd-as; het aantal der neven-assen is onbegrensd.

Om nu de terugkaatsing bij de gebogen spiegels gemakkelijker te verklaren, neemt men als hypothese aan, dat de oppervlakte *bestaat uit een* oneindig groot aantal uiterst kleine vakken,

welke alle onderling eene gelijke helling hebben en wel zoodanig, dat zij te zamen eene spherische oppervlakte vormen. Ten gevolge van deze hypothese, welke op de uiterste fijnheid der lichtstralen gegrond is, is het, wanneer op eenig punt van een gebogen spiegel een lichtstraal valt, werkelijk op een kleinen vlakken spiegel dat de terugkaatsing plaats grijpt: dus volgt deze terugkaatsing ook de twee wetten, welke wij boven voor de terugkaatsing op platte oppervlakten vermeld hebben.

302. **Brandpunt in holle spiegels.** Wanneer een bundel evenwijdige lichtstralen op een hollen spiegel invalt, en daardoor teruggekaatst wordt, vereenigen zich al de teruggekaatste

Fig. 209. Hoofd-brandpunt.

stralen in één punt, dat men *brandpunt* noemt, zooals wij reeds bij de warmte (zie 201) gezien hebben.

Om ons rekenschap te geven van deze eigenschap van de holle spiegels, veronderstellen wij een straal S I, die op zoodanigen spiegel valt, evenwijdig aan de as A X (figuur 208). Naar de hypothese in de voorgaande paragraaf aangenomen, geschiedt de *terugkaatsing* bij I op een oneindig kleinen vlak-

ken spiegel. Wat de normaal op dezen kleinen spiegel aangaat, men kan meetkundig bewijzen, dat zij altijd voorgesteld wordt door de rechte C I, die het middelpunt C met het punt I verbindt. Bij gevolg stelt hoek S I C den invallingshoek voor; en zoo men zich nu aan de andere zijde van de normaal eene rechte lijn I F voorstelt, makende met C I een hoek F C I gelijk aan K I S, dan zal deze lijn de richting van den teruggekaatsten straal aanwijzen.

Zijn de invallende stralen evenwijdig aan de as van den spiegel, als in het hier aangehaalde voorbeeld, dan kan men meetkundig bewijzen, dat het punt F, waar de lichtstraal de as snijdt, juist op het midden van A C gelegen is, dat het dan op gelijken afstand ligt èn van het midden van den spiegel èn van het krommings-middelpunt. Deze eigenschap geldt voor alle stralen evenwijdig aan de as, en hieruit volgt dat al deze stralen, na teruggekaatst te zijn, samenkomen in een zelfde brandpunt F, zooals onze teekening aantoont.

Dit brandpunt, dat midden tusschen den spiegel en het middelpunt van kromming gelegen is, wordt *hoofd-brandpunt* genoemd. Dit brandpunt ontstaat steeds als de invallende stralen evenwijdig aan de as van den spiegel zijn; wij zien er een voorbeeld van in fig. 209, die een bundel zonlicht voorstelt, welke op een hollen spiegel valt. Brengt men op het punt, waar de teruggekaatste stralen samenkomen, een klein scherm van mat glas, dan heeft men daar een zeer schitterend lichtend punt; dit is het *hoofd-brandpunt*. Wij zullen weldra zien, dat er nog twee brandpunten zijn: het *geconjugeerd brandpunt* (het *koppel-brandpunt*) en het *virtueel brandpunt*. Om het hoofd-brandpunt van deze twee brandpunten te onderscheiden, zullen wij het steeds met de letter F in onze teekeningen aanduiden.

303. **Geconjugeerd brandpunt.** Wij beschouwden tot nu toe lichtbundels met evenwijdige stralen; hierbij veronderstelden wij het lichtend voorwerp op oneindigen, ten minste op zeer grooten afstand. Wij nemen nu aan, dat de lichtbron op kleinen afstand is; dan zijn de stralen, die op den spiegel vallen, *divergeerend*, zooals figuur 210 aantoont. Hier zijn nu de teruggekaatste stralen ook nog wel *convergeerend*, maar minder dan in figuur 208 en 209, hetgeen voortvloeit uit het divergeerend invallen van de stralen op den spiegel. Dien

ten gevolge is het punt waar de teruggekaatste lichtstralen samenkomen, verder af gelegen: in plaats dat dit punt in F gelegen is, op gelijken afstand tusschen spiegel en krommings-middelpunt, vindt men het in *b*, tusschen de punten F en C. Dit punt *b*, waar de teruggekaatste stralen samenkomen, is ook een *brandpunt*. Om het te onderscheiden van het hoofd-brandpunt F, wordt het *geconjugeerd brandpunt* genoemd, naar een latijnsch woord dat *verbonden*, *gekoppeld* beteekent, omdat er tusschen de plaatsing van het lichtend punt B en die van het brandpunt *b* deze betrekking is, dat wanneer het lichtend punt in B is, de stralen hun brandpunt vormen in *b* en wederkeerig zoo het lichtend punt verplaatst wordt naar *b*, de teruggekaatste stralen hun brandpunt in B vormen.

Wij zagen dat er slechts ééne plaats is voor het hoofd-brandpunt, midden tusschen het middelpunt van den spiegel en van de kromming; met het geconjugeerd brandpunt is dit niet meer zoo, zijne plaats integendeel is zeer veranderlijk. Veronderstellen wij bij de hiernevensgaande figuur de kaars op eenigen afstand van den spiegel, dan zal het divergeeren van de lichtstralen minder worden, naarmate men de kaars

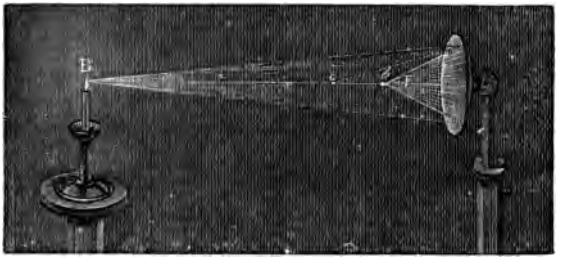


Fig. 210. Geconjugeerd brandpunt.

meer van den spiegel verwijdert, en de teruggekaatste stralen zullen meer en meer convergeeren, het brandpunt *b* zal meer en meer tot het punt F naderen, waarmede het eindelijk zal samenvallen, als de kaars zoover zal verwijderd zijn, dat men de invallende stralen als evenwijdig kan aannemen.

Zoo integendeel de kaars den spiegel nadert, vormen de daarop vallende *stralen* een meer en meer divergeerenden bun

del; dit is dan ook het geval met het teruggekaatste licht; bij gevolg komen de door den spiegel teruggekaatste stralen aldaar verder in één punt samen, het brandpunt *b* nadert steeds het middelpunt C, en indien de kaars dit punt zoozeer nadert, dat het er mede samenvalt, zal dit ook het geval zijn met het brandpunt *b*, zoodat dan de kaars en haar beeld in één punt C gelegen zijn.

Eindelijk, zoo de kaars den spiegel steeds meer naderende, gekomen is tusschen het middelpunt en het hoofd-brandpunt F, geraakt het geconjugeerde brandpunt *b*, dat voortgaat zich van den spiegel te verwijderen, aan de andere zijde van het middelpunt en vormt zich in dezelfde mate verder als het lichtgevend ligchaam nader bij het hoofd-brandpunt gelegen is; zoo de kaars in dit punt (het hoofd-brandpunt) gekomen is, vormt zich het geconjugeerde brandpunt op oneindigen afstand, en de teruggekaatste stralen worden evenwijdig.

Deze verschillende gevolgen van de terugkaatsing vloeijen voort uit de standvastige gelijkheid van de hoeken van terugkaatsing en inval. De waarheid er van kan men op zeer verschillende wijze door de proef aantoonen: men plaatst in eene donkere kamer eene kaars voor een hollen spiegel, achtereenvolgens op de verschillende wijzen als wij zoo even beschouwd hebben, en men zoekt al tastende waar zich het lichtend brandpunt op een klein wit papieren scherm vormt, dat men in de hand houdt, en dat men langzamerhand òf van den spiegel verwijdert òf daar nader bij brengt.

304. **Virtueel brandpunt.** Nadat wij de verschillende plaatsen

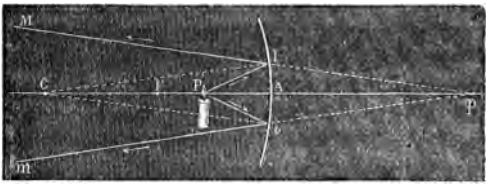


Fig. 211. Virtueel brandpunt.

hebben aangewezen, waar de door een hollen spiegel teruggekaatste stralen samenkomen, als de lichtbron òf aan gene *zijde van het* hoofd-brandpunt gelegen is óf in dit brandpunt

zelf, blijft ons nog over om te onderzoeken, wat er van deze zelfde stralen wordt, als de lichtbron zich in een punt P bevindt, dat dichter dan het hoofd-brandpunt bij den spiegel gelegen is, zie fig. 211. In dit geval vormen de teruggekaatste stralen een divergeerenden lichtbundel en kunnen dus in geen punt vóór den spiegel samenkomen, kunnen dus geen brandpunt vóór den spiegel vormen: maar voor het oog, dat deze stralen opvangt, heeft juist weer hetzelfde plaats als bij de vlakke spiegels, dat wil zeggen, het oog wordt aangedaan door de teruggekaatste stralen I M en *i m*, juist alsof de kaars achter den spiegel in het punt *p* geplaatst was, waar deze stralen verlengd zijnde samenkomen. Men ziet dus in *p* het beeld der kaars: daar het licht echter niet tot achter den spiegel kan doordringen, bestaat dit beeld niet in werkelijkheid, daarom noemt men het brandpunt dat bij *p* schijnt gevormd te worden, *virtueel*, *schijnbaar brandpunt*, eene uitdrukking, die in denzelfden zin als bij de vlakke spiegels moet opgevat worden.

305. **Vorming van beelden in holle spiegels.** De holle spiegels kunnen twee soorten van beelden geven, een reëel (werkelijk) en een virtueel (schijnbaar) beeld. Hunne vorming leidt men gemakkelijk af uit hetgeen wij van het geconjugeerd en het vertueel brandpunt gezegd hebben. Evenwel moeten wij hier nog het volgende bijvoegen: wanneer een lichtend of verlicht punt gelegen is in de hoofdas van den spiegel, dan ontstaat zijn brandpunt, reëel of virtueel, altijd op deze as; dit geval is voorgesteld in de figuren 210 en 211: maar zoo het lichtend punt op eene neven-as gelegen is, dan vormt zich het brandpunt ook op deze neven-as. Indien bijv. in fig. 208, welke wij vroeger beschouwden, eene kaars was geplaatst in *d* op de neven-as *i* C *d*, dan zouden de teruggekaatste stralen een brandpunt vormen op de lijn C *i*. Laat ons nu nagaan hoe zich de beelden in de holle spiegels vormen.

Reëel beeld. Zoo men zich op zekeren afstand voor een hollen spiegel plaatst, dan ziet men zich niet meer recht en op de natuurlijke grootte, als in de vlakke spiegels, maar omgekeerd en veel kleiner, zoo als ons fig. 212 doet zien. Aan dit beeld geeft men den naam van *reëel beeld*, om uit te drukken dat het geene vergissing van het oog is, zoo als dit het geval is bij de vlakke spiegels, maar dat het werkelijk

bestaat. Dit beeld kan men op een scherm opvangen, men behoeft daartoe den spiegel slechts voor een zeer sterk verlicht voorwerp te plaatsen, bijv. voor een gebouw, dat door de zon beschenen wordt: daarna plaatst men zich naast den spiegel en houdt een klein wit scherm in de hand op de plaats, waar zich het geconjugeerd brandpunt vormt. De lichtbundels, die

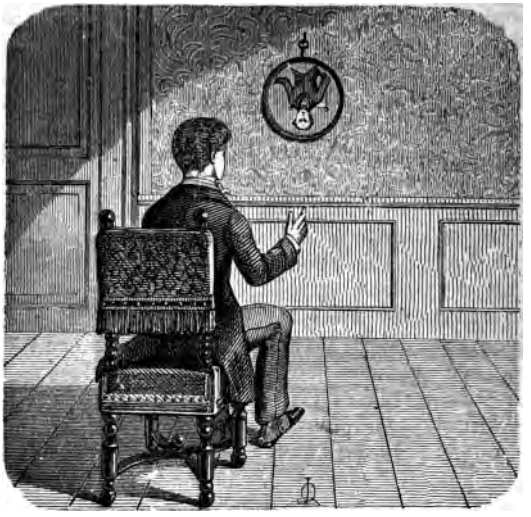


Fig. 212. Reëel beeld in een hollen spiegel.

van de verschillende punten van het gebouw uitgaan, worden teruggekaatst op den spiegel, convergeeren naar het scherm, en teekenen daar in miniatuur een beeld af, niet minder merkwaardig door zijn coloriet als door de getrouwheid van den omtrek (zie fig. 213): de eenige fout van het beeld is, dat het omgekeerd is.

De vorming van dit beeld is gemakkelijk te verklaren. Naar hetgeen wij van de geconjugeerde brandpunten gezegd hebben (303), is ieder punt van het beeld het geconjugeerde brandpunt van het overeenkomstig punt van het verlichte voorwerp en bevindt zich op dezelfde neven-as. Daar echter alle *neven*-assen, die van de verschillende punten van dit lichaam *uitgaan, zich* snijden in het krommings-middelpunt van den

spiegel, volgt hieruit, zoo als onze figuur aantoont, dat de stralen, van de hoogste punten van het voorwerp uitgezonden, convergeerend gaan naar de laagste gedeelten van het beeld en dat wederkeerig de stralen, van den voet van het gebouw

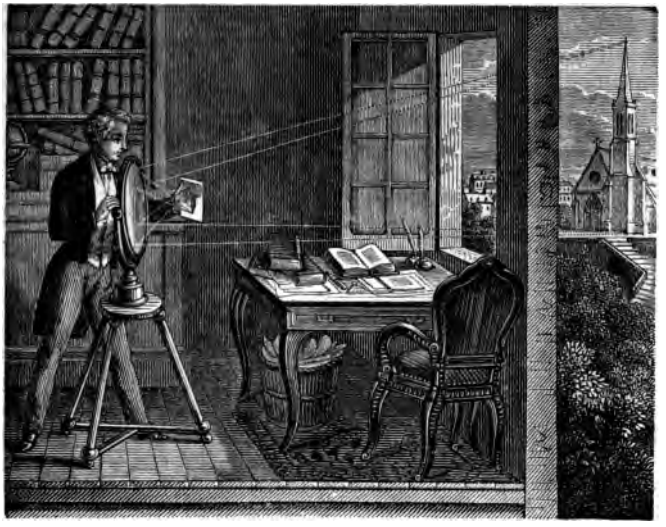


Fig. 213. Reëel beeld, op een scherm opgevangen.

afkomstig, zich vereenigen op de hoogste punten van dit beeld: dit verklaart ons waarom het beeld omgekeerd is.

Merkwaardig is het, dat bij de holle spiegels het reëele beeld niet altijd kleiner is dan het verlichte voorwerp, zooals de beide voorgaande teekeningen doen zien; het beeld kan ook grooter zijn. Dit heeft plaats als het voorwerp zich bevindt tusschen het hoofd-brandpunt en het middelpunt van kromming; het beeld vormt zich dan aan gene zijde van het laatste en is zoo veel te grooter naarmate het zich op verderen afstand vormt.

Virtueel beeld. Wij zagen in fig. 212 hoe wij ons, op zekeren afstand, in een hollen spiegel verkleind en omgekeerd zien. Komen wij nader tot den spiegel, dan komt er een oogenblik, *waarop men in het* geheel geen beeld meer waarneemt;

dat is op het oogenblik dat men zich tusschen het middelpunt en het hoofd-brandpunt bevindt; want dan vormt zich het beeld achter den waarnemer. In het hoofd-brandpunt geplaatst neemt men nog geen beeld waar; want wij weten dat de lichtstralen uit dit brandpunt, na teruggekaatst te zijn, een bundel evenwijdige stralen doen ontstaan; bij gevolg, daar de stralen noch vóór noch achter dezen spiegel elkander snijden, kunnen zij geen beeld doen ontstaan. Maar zoo men voortgaat met tot den spiegel te naderen, ziet men plotseling zijn beeld weer te voorschijn komen, dat nu, van klein en omgekeerd als het was, recht is geworden en zeer vergroot, zoo als wij in fig. 214 zien: dit is een virtueel beeld.

Fig. 214. Virtueel beeld in een hollen spiegel.

Om ons rekenschap van de vorming van dit beeld te geven, moeten wij ons herinneren hetgeen gezegd is van het virtueel brandpundt (zie 304): 1°. dat het zich alleen vormt als het lichtgevend of het verlicht voorwerp geplaatst is tusschen het hoofd-brandpunt en den spiegel; 2°. dat dit virtueel brandpunt of, wat hetzelfde is, dat het virtueel beeld van eenig punt, van het voorwerp achter den spiegel gelegen is op de neven-as zelve, die door dit punt getrokken is. Als nu het hoofd van den waarnemer geplaatst is tusscheu den spiegel en het hoofd-brandpunt (zie fig. 215), dan komen al de stralen, die van eenig punt *a* van het gelaat zijn uitgegaan, terug in het oog, na de terugkaatsing, als of zij kwamen van een punt A, waarin de teruggekaatste stralen verlengd zijnde, samenkomen, op de neven-as C *a* A. Zoo komen ook de stralen, uitgaande van het punt *b* in het oog terug, alsof zij uitgingen van een punt B, gelegen op de verlenging van de neven-as C *b*. Het oog ziet dan in A B een recht en vergroot beeld.

306. **Vorming van beelden in holle spiegels.** Wij hebben

eds gezien, dat bolle spiegels spherische spiegels zijn, die
t licht op hunne buitenzijde terugkaatsen, namelijk op het

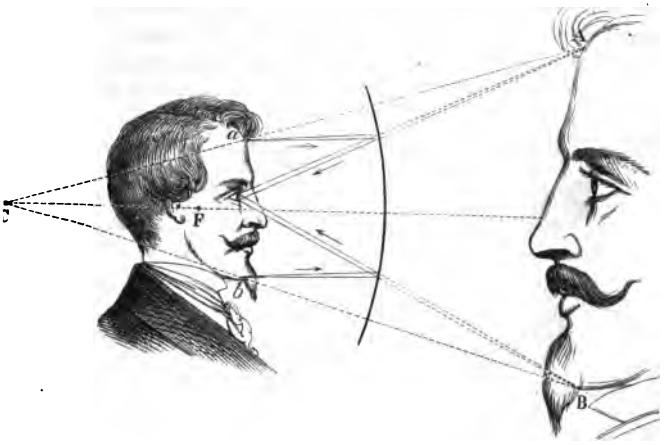


Fig. 215. Vorming van een virtueel beeld bij holle spiegels.

olle gedeelte. Welke ook de afstand zij van een lichtgevend
f een verlicht voorwerp, dat voor zulk een spiegel geplaatst

Fig. 216. Verkleind beeld in bolle spiegels.

is, men verkrijgt nooit anders dan een virtueel beeld, gele-
aan de andere zijde van den spiegel, altijd recht en klein
dan het voorwerp. Men kan dit met een spiegel van die so
onderzoeken, zoo als wij zien in fig. 216. Wat de vorm
van dit beeld aangaat, het is gemakkelijk om er zich rek
schap van te geven, als wij fig. 217 nauwkeurig beschouw

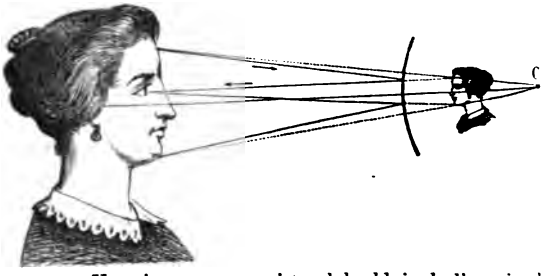


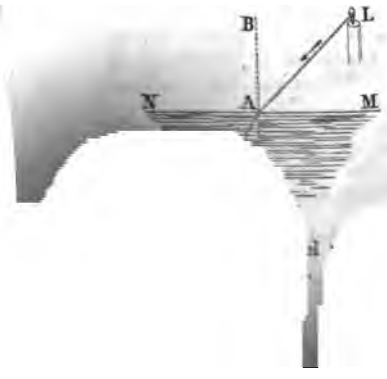
Fig. 217. Vorming van een virtueel beeld in bolle spiegels.

Hier is het beeld veel kleiner dan het voorwerp, omdat
veel dichter bij het punt C staat, waar de neven-assen elka
snijden, terwijl het just het omgekeerde is van hetgeen p
grijpt bij de vorming van een virtueel beeld bij de holle
gels (zie fig. 215).

HOOFDSTUK III.

BREKING VAN HET LICHT.

307. **Verschijnsel van de straalbreking.** Wanneer een li
straal min of meer schuins uit een doorschijnende midden
in eene andere overgaat, b
van lucht in water, van l
in glas, dan ondervindt hij e
kleine afwijking van de rechte
volgens welke hij zich vo
plantte, zoo als wij in fig. 2
zien, hetgeen ons een lichtstr
[illegible], welke van de lucht
[illegible]oortplant. Deze v
[illegible]chting noemt n
[illegible]ndat werkelijk



raal bij het punt A gebroken wordt, waar hij van de
ıg L A in de richting A K overgaat.

straal L A wordt *invallende straal* genoemd; A K is
broken straal; de lijn B C loodrecht uit het invallings-
A op de oppervlakte N M, welke de twee middenstoffen
.t, opgericht, heet de *normaal;* eindelijk is de hoek B A L
vallingshoek en hoek C A K de *brekingshoek.* Indien de
van inval gelijk nul is, dat wil zeggen, als de inval-
straal met de normal samenvalt, heeft dit ook plaats
len gebroken straal, er is dus geene breking, want het
blijft zich in eene rechte lijn voortplanten (1).

8. **Brekende stoffen, oorzaak van de straalbreking.** Wan-
een lichtstraal gebroken wordt, als hij van de eene mid-
of in de andere overgaat, nadert de gebroken straal nu
de normaal, zoodat hij een brekingshoek vormt, kleiner dan
ıvallingshoek, zoo als dit in nevensgaande figuur aange-

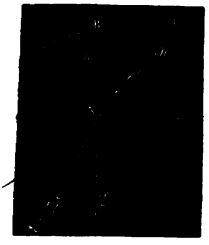


Fig. 219.

(1) *Wetten van de straalbreking.* Wanneer het licht van de eene middenstof in de andere overgaat, is het bij de breking steeds aan de twee volgende wetten onderworpen:

1⁰. *Voor dezelfde middenstoffen is de verhouding tusschen den sinus van den invallingshoek en den sinus van den brekingshoek standvastig.*

2⁰. *De invallende en de gebroken straal liggen steeds in een zelfde vlak, loodrecht op de oppervlakte, die de middenstoffen scheidt.* Deze wetten worden genoemd *wetten van Descartes* of *wetten van Snellius.* Descartes heeft ze het eerst geformuleerd, terwijl W. Snellius, een Nederlander, hem heeft op het spoor gebracht.

Om deze wetten te begrijpen zullen wij de hiernevensgaande figuur
houwen, waar de straal LA van lucht in water overgaat Indien wij
het punt van invalling, met een straal gelijk aan de eenheid, een
el beschrijven, die uit de punten *m* en *p*, waar deze cirkel den in-
enden en gebroken straal snijdt, op de normaal BC loodlijnen *mn*
pq neerlaat, dan wordt de eerste genoemd *sinus* van den invallings-
k, en de tweede *sinus* van den brekingshoek.

Nu is het de verhouding van deze loodlijnen, deze sinussen, welke
ıdvastig is: dat wil zeggen, dat zoo *mn* bijv. $\frac{4}{3}$ van *pq* is, en de in-
lingshoek of kleiner of grooter wordt, dit eveneens zal plaats grij-
ı m ingshoek, maar de sinus van den eersten zal steeds $\frac{4}{3}$
ı d n laatsten zijn.

verhouding noemt men *brekings-index;* de grootte
illende middenstoffen. De diamant heeft den

toond is; dan eens verwijdert hij zich van de normaal, een brekingshoek makende grooter dan de invallingshoek. In het eerste geval zegt men dat de tweede middenstof *meer brekend* is dan de eerste; in het tweede geval, dat zij minder brekend is.

Newton heeft het eerst opgemerkt, dat een ligchaam een grooter brekend vermogen bezit, naarmate het meer brandbare elementen bevat. Het water, waarvan de waterstof een brandbaar gas, een der elementen uitmaakt, heeft een groot brekend vermogen; alkohol, aether, oliën, die behalve waterstof nog koolstof bevatten, hebben een nog grooter brekend vermogen dan water. De diamant, die alleen uit koolstof bestaat, is een van de meest brekende ligchamen. Het is zijn groot straalbrekend vermogen, dat de schitterende lichtspelingen te voorschijn roept, welke hem voor sieraad zoo gezocht doen zijn. De minst brekende stoffen zijn de gassen; maar men kan hun brekend vermogen vergrooten door hen samen te drukken en dus hunne dichtheid te vermeerderen.

In de theorie der emissie (zie 283) verklaarde men het verschijnsel der straalbreking door aan te nemen, dat de stoffen, waarin het licht doordringt, op de licht-moleculen eene aantrekking uitoefenen, die afhangt van de dichtheid en de natuur der ligchamen In de theorie der undulaties ontstaat de straalbreking door eene wijziging in snelheid, welke het licht ondervindt, terwijl het van de eene middenstof in de andere overgaat.

309. **Proeven over de straalbreking.** Men kan door talrijke proeven de afwijking in richting aantoonen, welke de lichtstralen ondergaan als zij van de eene middenstof in de andere overgaan. Zoo men bijv. in eene donkere kamer een bundel zonlicht doet vallen op een vat water met doorschijnende wanden (zie fig. 220), dan kan men zeer goed waarnemen, dat de bundel gebroken wordt als hij van lucht in water overgaat, vooral indien men èn in de vloeistof èn in de lucht eenige stofdeeltjes verspreid heeft, die den bundel meer zichtbaar maken.

Een andere proef is deze: men legt op den bodem van een vat met ondoorschijnende wanden een stuk geld en plaatst zich zoodanig, dat de door het stuk geld teruggekaatste stralen juist even door den rand van het vat worden teruggehouden. Het is duidelijk dat men nu niets van het geldstuk zien kan; maar indien men nu, zonder zich te verplaatsen, langzamerhand water in het vat giet, dan ziet men eerst den rand, dan de

en daarna het geheele stuk. Wat is hier gebeurd? In tand van het oog of in dien van het stuk geld is niets

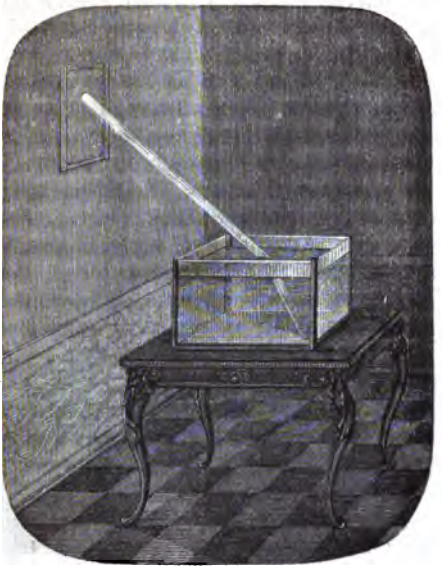


Fig. 220. Proef van de straalbreking.

derd; het zijn alleen de lichtstralen, door dit stuk te-

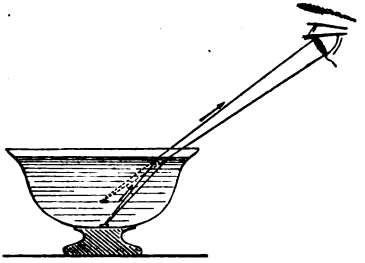


Fig. 221. Tweede proef der straalbreking.

kaatst, die van richting veranderd zijn. Zij, die straks de wanden van het vat teruggehouden werden, zijn dit

nog; maar die stralen, welke, eer er water in het vat was, over het hoofd van den beschouwer heengingen, zijn nu naar het oog gericht, daar zij, van water in lucht overgaande, gebroken worden, terwijl zij zich verwijderen van de lijn, die loodrecht op de oppervlakte der vloeistof is, zoo als fig. 221 ons aantoont.

310. **Verschillende gevolgen van de straalbreking.** De straalbreking biedt zeer vele verschijnselen aan, die het oog misleiden, daar zij ons soms voorwerpen doet zien, waar zij niet zijn, naar de stelling, die wij reeds genoemd hebben (zie 295), dat het oog de voorwerpen steeds in die richting ziet, in welke het de daarvan uitgaande lichtstralen ontvangt. Bijv. in de voorgaande proef schijnt het stuk geld hooger te liggen, dan het werkelijk doet. Wij zien dan ook in het water de visschen niet op de plaats waar zij zich bevinden, maar een weinig hooger, zoo als wij in fig. 222 aangetoond hebben.

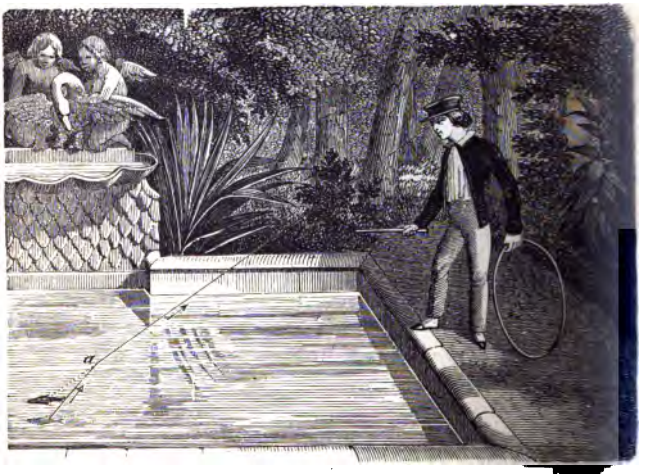


Fig. 222. Gevolg der straalbreking.

Door dezelfde oorzaak schijnt ons ook de bedding eener beek, eener rivier hooger dan zij werkelijk is: dit doet ons het water soms voor minder diep houden, een vergissing die gevaarlijk kan zijn.

Het is ook een gevolg van de straalbreking, dat ons een

voor de helft in water gedompelde stok gebroken toeschijnt, wanneer men zijdelings er naar ziet: want het gedeelte, dat boven water is, zien wij op de ware plaats, terwijl wij het

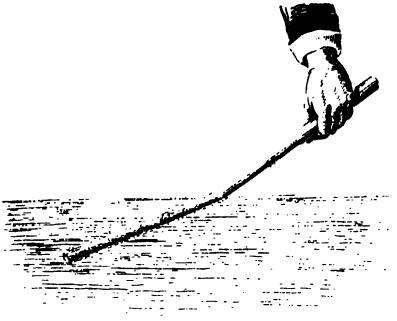


Fig. 223. Tweede gevolg der straalbreking.

ingedompelde gedeelte hooger waarnemen. Het schijnt ons dus toe, dat de stok bij de oppervlakte van het water gebroken is (zie fig. 223).

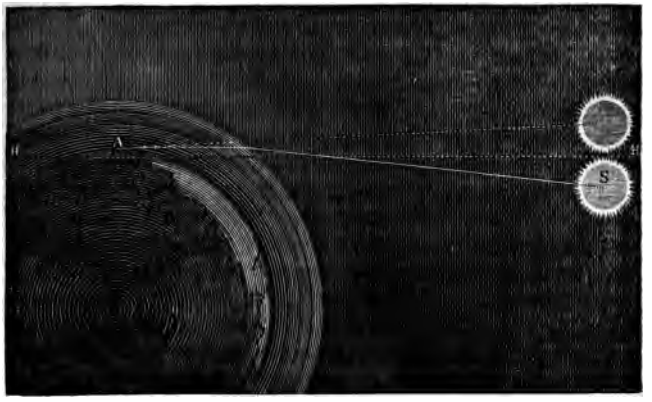


Fig. 224. Straalbreking in den dampkring.

Eindelijk moeten wij ook nog den invloed vermelden, welken de *straalbreking uitoefent* op het schijnbaar op- en ondergaan

der hemellichten, welke reeds zichtbaar zijn voor dat zij boven den horizon verschijnen en nog zichtbaar nadat zij reeds onder den horizon verdwenen zijn. Laten wij, om dit verschijnsel te verklaren, ons voorstellen dat de atmospheer zich in evenwijdige lagen om de oppervlakte der aarde bevindt, zoo als fig. 224 voorstelt. Door de drukking, die de onderste lagen van de bovengelegene ondervinden, zijn zij dichter en dus meer brekend. De zonnestralen komen dus, in de atmospheer doordringende, steeds in eene meer brekende middenstof, en worden dus van laag tot laag meer gebroken: hieruit volgt, dat zij, in plaats van zich in eene rechte lijn voort te planten, zich werkelijk volgens eene kromme lijn voortplanten. Dit is de reden dat, terwijl de zon nog in S is onder den horizon H H, zij aan den waarnemer, die in A geplaatst is op de oppervlakte der aarde, voorkomt opgeheven te zijn en wel zoo hoog als de schijnbare middellijn van dit hemellicht bedraagt.

311. **Geval, waarin de straalbreking in terugkaatsing overgaat.** Telkenmale als het licht uit eene middenstof in eene andere meer brekende overgaat, bijv. van lucht in water, kan de gebroken straal tot de normaal naderen en daarmede een kleineren hoek dan den invallingshoek vormen, en in dit geval is het verschijnsel van de straalbreking altijd mogelijk: maar zoo, integendeel, de tweede middenstof minder brekend is dan de eerste, en de stralen zich dus van de normaal verwijderen, dan heeft deze verwijdering eene grens, en kan bij gevolg onmogelijk worden.

Om dit te verklaren, nemen wij aan, dat wij een hollen glazen bol hebben, welke tot op het midden met water gevuld is (zie fig. 225), en dat een lichtstraal L A daarin treedt zonder gebroken te worden: dit kunnen wij doen omdat de lichtstraal loodrecht invalt op het kleine platte vlak, dat wij ons mogen voorstellen, daar waar het licht binnentreedt (zie 317). Deze straal wordt gebroken bij het punt A, komende van water in lucht, en verwijdert zich van de normaal B A C volgens eene richting A R. Veronderstellen wij nu, dat het lichtgevend ligchaam zich langzamerhand van A C verwijdert, dan wordt de invallingshoek C A L grooter; en ook de brekingshoek B A R. De hoek C A L kan eene grootte verkrijgen, zoodanig dat de gebroken straal evenwijdig aan de oppervlakte

M zal uittreden. Met dezen hoek van inval komt de grens ı de breking overeen. Dit is de *grenshoek*. Voor elken ek van inval, die grooter is, zal de brekingshoek den hoek A M moeten overtreffen: het licht zal dus onder A M eene hting A *r* moeten volgen. Maar dan heeft er geen breking plaats, omdat het licht, zich steeds in water voortplantende, niet van middenstof verandert. Indien men nu den invallenden straal door *l* A voorstelt en de twee hoeken *l* A C en C A *r* meet, vindt men dat zij juist even groot zijn, en dit bewijst, dat bij het punt A het licht volgens de gewone wetten teruggekaatst is.

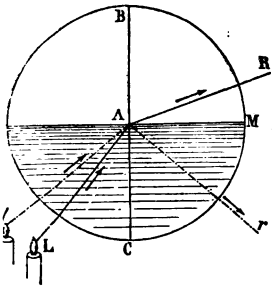


Fig. 225. Inwendige terugkaatsing.

Deze terugkaatsing tegen de scheidings-oppervlakte van de beide middenstoffen noemt men *inwendige terugkaatsing;* men noemt ook *volledige terugkaatsing (totale reflectie)*, omdat hier *al* t invallend licht teruggekaatst wordt, hetgeen nooit bij gewone terugkaatsing plaats grijpt, zelfs niet bij de best polijste oppervlakten. Het gevolg van deze inwendige ugkaatsing is, dat, zoo wij zeer schuins naar de opperıkte van zelfs het helderste water zien, wij niets kunnen ıarnemen van hetgeen op den bodem ligt, daar de lichtalen, die van de ondergedompelde voorwerpen uitgaan, et uit het water geraken. Deze zelfde inwendige terugkaatıg is oorzaak van een ander merkwaardig verschijnsel, de chtspiegeling.

312. **De luchtspiegeling.** De *luchtspiegeling* is een gezichtsıdrog, dat onder den grond een omgekeerd beeld van de rwijderde voorwerpen doet aanschouwen. Dit verschijnsel ordt waargenomen vooral in warme landen en in het bijzonır in de zandige vlakten van Egypte. Daar vertoont zich de ond dikwijls als een kalm meer, waarin de omringende boon en andere voorwerpen worden teruggekaatst. Maar het is vergeefs, dat de reiziger zich haast; dit schijnbare en zoo er gewenschte meer vlucht voor hem uit, naarmate hij het hijnt te naderen. Dit verschijnsel is reeds in de hoog-

oudheid waargenomen. Monge, fransch wis- en natuurkundige, heeft er het eerst de verklaring van gegeven, toen hij deel nam aan den veldtocht in Egypte in 1798.

De luchtspiegeling is een brekingsverschijnsel, dat de ongelijke dichtheid der atmospheer tot oorzaak heeft, als de onderst gelegene lagen uitgezet worden door hare aanraking met den sterk verhitten grond. De minst dichte lagen zijn dan het naast aan den grond en een lichtstraal, die van een verheven voorwerp naar den grond gericht is, doortrekt luchtlagen die al minder en minder dicht zijn en dus al minder en minder brekend. De lichtstraal buigt zich dus van de eene laag tot de andere meer en meer, tot dat de hoek van invalling, die gestadig grooter wordt, de grens bereikt, waar

Fig. 226. Luchtspiegeling.

de breking terugkaatsing wordt. De straal richt zich dan op bij het punt *a*, zoo als fig. 226 aantoont, en ondergaat nu eene reeks van brekingen in tegengestelden zin als de eerste; want hij komt nu in steeds dichtere lagen. Het licht komt dus in het oog van den waarnemer met eene richting, alsof het kwam van een punt onder den grond, en daarom ziet het oog een omgekeerd beeld van de verwijderde voorwerpen, alsof de lichtstralen op de oppervlakte van kalm water teruggekaatst werden.

HOOFDSTUK IV.

GEVOLGEN DER STRAALBREKING IN PRISMA'S EN LENZEN.

313. **Middenstoffen door evenwijdige vlakken begrensd.** Wanneer het licht door eene doorschijnende middenstof gaat, kan men ten aanzien van de verkregen verschijnselen drie gevallen beschouwen: 1°. kan de middenstof besloten zijn tusschen twee evenwijdige vlakken; 2°. tusschen twee vlakken die een hoek met elkander maken; 3°. tusschen twee gebogen oppervlakten, of tusschen eene gebogene en eene platte oppervlakte, wat gelijksoortige verschijnselen geeft.

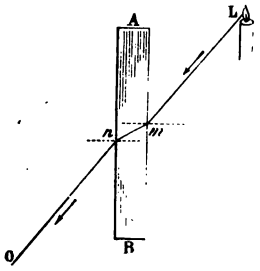


Fig. 227. Gang van de lichtstralen in eene middenstof, door evenwijdige vlakken begrensd.

Laten wij het eerste geval beschouwen en zij L*m* een lichtstraal die door een glazen plaat A B gaat, (zie fig. 227). Bij zijnen overgang van lucht in glas, bij het punt *m*, nadert deze straal tot de normaal, maar daar bij het uittreden uit het glas, bij het punt *n*, hij zich nu juist evenveel van haar verwijdert, volgt hieruit dat zijne richting, O*n*, na door het glas te zijn gegaan, evenwijdig is aan L*m*. Hieruit besluit men dat het licht niet van zijnen weg wordt afgebogen, wanneer het door eene middenstof met evenwijdige vlakken gaat.

314. **Prisma's.** In de leer van het licht noemt men *prisma* elke doorschijnende middenstof welke door twee platte vlakken begrensd is, die een hoek met elkander maken. Zoo vormen bijv. de vlakken van een stop eener karaf, twee aan twee genomen, even zoovele prisma's. Fig. 228 toont ons den gewonen vorm aan van een prisma, waarmede men proeven neemt, en hoe men dit toerust. Het is eene glazen of kristallen massa, in de lengte door drie platte vlakken begrensd en aan de beide einden door twee gelijk en gelijkvormige driehoeken, die evenwijdig zijn. De drie rechte lijnen, volgens welke in hunne lengte de drie zijvlakken twee aan twee elkander

snijden, heeten de *ribben*. Eindelijk kan men de zoo geslepen glasmassa om eene as doen wentelen, die evenwijdig is aan de ribben. Het prisma staat op een voetstuk met dubbel scharnier, zoodat men het elke stelling kan geven: horizontaal, vertikaal of schuins.

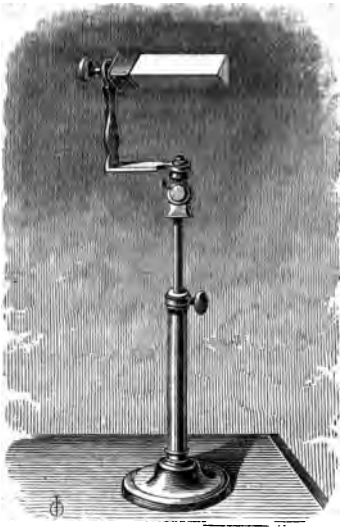


Fig. 228. Prisma.

De prisma's hebben een merkwaardigen invloed op den gang van het licht; 1°. doen zij het aanmerkelijk afwijken; 2°. ontleden zij het licht. Ofschoon deze afwijking en deze ontleding altijd gepaard gaan, zullen wij eerst de afwijking behandelen en later de ontleding onder den naam van *dispersie*.

315. **Gang van de lichtstralen door een prisma.** Om den weg aan te toonen, die een lichtstraal doorloopt, als hij door een prisma gaat, zullen wij ons voorstellen dat dit prisma gesneden wordt door een vlak, loodrecht op de ribben. Zij *mno* (fig. 229) de doorsnede, die wij zoo verkrijgen. Nu nemen wij aan, dat een lichtstraal het prisma in *a* ontmoet; dan wordt deze straal naar

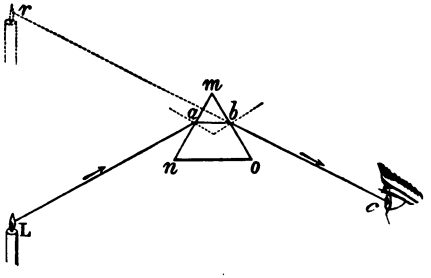


Fig. 229. Gang der lichtstralen in een prisma.

de lijn, die loodrecht op *mn* staat, gebroken en volgt ver-

der in het prisma de richting *a b*. Bij zijn uittreden uit het prisma wordt de straal weer gebroken in dezelfde richting, terwijl hij zich nu verwijdert van de loodlijn op *m o*, omdat hij in eene minder brekende middenstof overgaat. Hij beschrijft dus de gebroken lijn L *a b c*: hieruit volgt, dat het oog, dat den *uittredenden* straal *b c* opvangt, het licht gevend

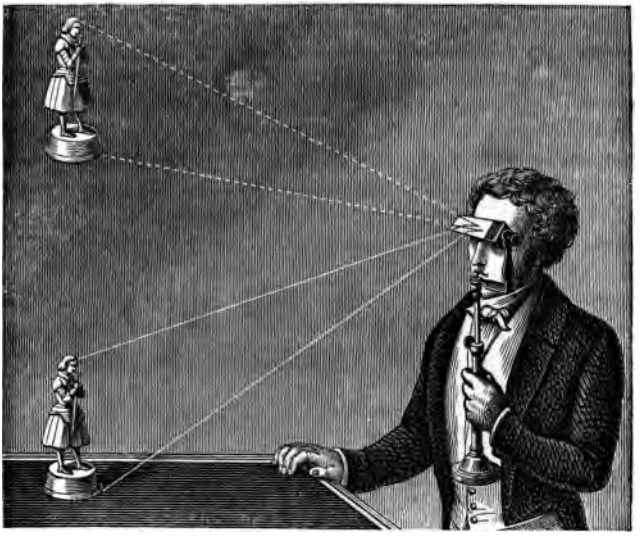


Fig. 230. Afwijking door het prisma voortgebracht.

voorwerp ziet in de richting *c b r*, dat wil zeggen opgeheven naar het punt *m*. Dit drukt men uit door te zeggen, dat een voorwerp door een prisma heen gezien ons voorkomt afgeweken te zijn en wel opgeheven naar de ribbe, die door de vlakken van invalling en uittreding gevormd wordt.

Om de proef hiervan te nemen, ziet men door een horizontaal prisma naar eenig voorwerp zoo als fig. 230 aantoont; men ziet het opgeheven als de ribbe tusschen de vlakken van den in- en uittredenden straal omhoog gekeerd is: draait men het prisma om en is deze zelfde ribbe naar de laagte gekeerd, *dan schijnt het voorwerp* lager te staan. Is het prisma ver-

tikaal, dan schijnt het voorwerp zich rechts of links van den waarnemer te plaatsen, al naar dat de ribbe naar den eenen of anderen kant gekeerd is.

Deze eigenschap der prisma's om het licht tweemaal in denzelfden zin te breken, is de grondslag van hetgeen wij over de lenzen gaan zeggen.

LENZEN.

316. **Verschillende soorten van lenzen.** In de leer van het licht noemt men *lenzen* schijven van glas, begrepen tusschen twee bolvormige oppervlakten of tusschen eene platte en eene bolvormige oppervlakte. De ware lens, d. i. die waaraan deze naam in waarheid toekomt, is begrensd door twee bolle opper-

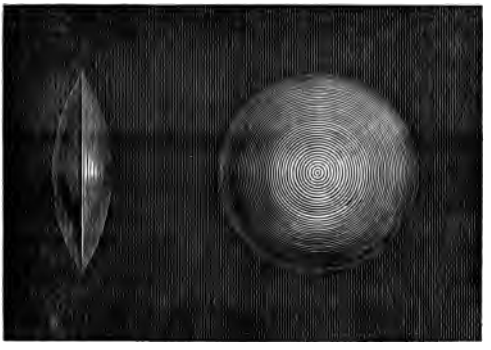


Fig. 231. Fig 232.
Biconvexe lens

vlakten, zoo als zij voorgesteld is in doorsnede in fig. 231 en van voren gezien in fig. 232: maar deze benaming van *lens*, *lenze* naar de overeenkomst in gedaante met het zaad van dezen naam, wordt ook uitgestrekt tot andere glazen massa's wegens de gelijksoortige uitwerking op het licht.

Men heeft zes soorten van lenzen, welke in doorsnede zijn voorgesteld in fig. 233 en 234. De drie lenzen M, N, O, die in het midden dikker zijn dan aan den omtrek, worden *convergeerende* lenzen genoemd, omdat zij de lichtstralen, die *er doorgaan*, doen convergeeren (samenloopen). De drie overige *lenzen* P, Q, R, dunner in het midden dan aan den omtrek,

worden *divergeerend* genoemd, omdat zij de lichtstralen doen divergeeren (uit elkander gaan).

Deze zes lenzen worden nog door de volgende benamingen onderscheiden.

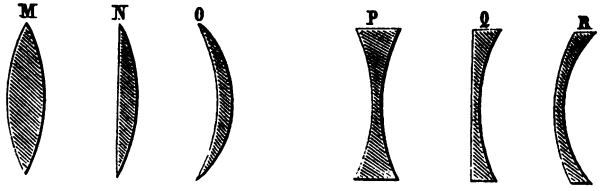


Fig. 233. Fig. 234.
Doorsnede van de verschillende soorten van lenzen.

De lens M, waarvan de beide oppervlakten bol zijn, wordt *biconvex (dubbel bol)* genoemd; terwijl de lens P, waarvan de beide oppervlakten hol zijn, *biconcaaf (dubbel hol)* wordt genoemd;

De lenzen N en Q zijn, de eene *plan-convex (plat-bol);* de andere *plan-concaaf (plat-hol);*

De lenzen O en R zijn, de eerste *convergeerend concaaf-convex*, de andere *divergeerend concaaf-convex.* Zij dragen ook den naam van *meniscus (maanglas*, naar den halvemaansvorm*)*; de eerste wordt met den naam van *convergeerenden*, de andere met dien van *divergeerenden meniscus* bestempeld.

Bij het nagaan van deze verschillende lenzen zullen wij ons bepalen bij de *biconvexe* lens M en de *biconcave* lens P; omdat de eigenschappen van eerstgenoemde toegepast kunnen worden op de drie convergeerende, en de eigenschappen van de tweede op de drie divergeerende lenzen.

317. **Hoofdas, optisch middelpunt, nevenassen.** Eer wij de eigenschappen van de biconvexe lenzen leeren kennen moeten wij eenige bepalingen geven, die overeenkomen met die, welke wij reeds bij de spiegels gaven. Elke biconvexe lens is, zoo als ons fig. 235 aantoont, dat gedeelte, dat twee bollen, welke elkander snijden, gemeen hebben. De middelpunten C en *c* van deze bollen worden de *middelpunten van kromming* van de lens genaamd en de oneindige rechte X Y, die door deze punten gaat, is de hoofdas.

Behalve deze twee middelpunten van kromming is er bij de lenzen nog een merkwaardig punt; het *optisch middelpunt*. Zoo noemt men het punt O, dat op de hoofdas, op gelijken afstand van de beide vlakken van de lens, gelegen is, ten minste als zij dezelfde kromming hebben, hetgeen het gewone

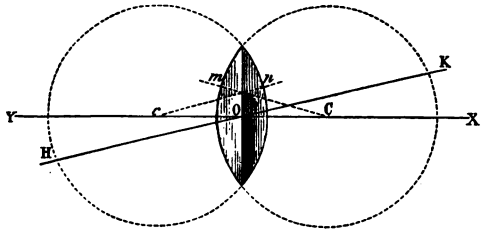


Fig. 235.

geval is. Men kan meetkundig aantoonen, dat elke lichtstraal die, door de lens gaande, door haar optisch middelpunt opgaat, de lens zonder afwijking verlaat; dat wil zeggen, dat hij geheel denzelfden weg volgt alsof hij door eene middenstof ging, door twee evenwijdige vlakken begrensd (zie 297). Terwijl de lichtstralen, die de lens doorgaan zonder door dat punt te gaan, tweemalen in denzelfden zin gebroken worden, even als door een prisma (zie 315).

Elke rechte KH, die door het optisch middelpunt gaat zonder de krommings-middelpunten te raken, is eene *neven-as*. Er is slechts ééne hoofd-as, maar het aantal der neven-assen is onbeperkt. Wij zullen straks zien, dat hoofd- en neven-assen bij de samenstelling van beelden door lenzen dezelfde rol spelen als bij de holle en bolle spiegels.

Verder zullen wij ook nog, evenals bij de gebogene spiegels, veronderstellen, dat de kromme oppervlakte bestaat uit een aaneenschakeling van zeer kleine platte vlakken, die zoodanige helling hebben, dat zij te zamen een gebogen oppervlak vormen. Dien ten gevolge is de normaal of loodlijn op een van deze kleine platte vlakken bij het punt *m*, de rechte *m*C, die het punt *m* met het middelpunt van kromming verbindt: evenzoo is in *n* de normaal *cn*. Nemen wij dit aan, dan kunnen de eigenschappen der lenzen gemakkelijk van die *der prisma's* afgeleid worden.

318. **Gang van de lichtstralen door biconvexe lenzen, brandpunten.** De lichtstralen, die op eene lens vallen, kunnen evenwijdig aan elkander zijn of divergeerend. Wij zullen eerst aannemen dat zij evenwijdig zijn en daarenboven evenwijdig aan de hoofd-as, zooals wij in fig. 236 zien. Naar hetgeen wij

Fig. 236.

aangenomen hebben, gaat de straal X, die met de hoofd-as samenvalt, door de lens loodrecht op de kleine platte vlakken, bij het in- en uittreden, en bij gevolg plant hij zich in eene rechte lijn voort, daar hij door eene tusschen evenwijdige vlakken besloten middenstof gaat. Dit is niet meer het geval met een straal L, op grooteren of kleineren afstand van de hoofd-as; want daar hier de kleine vlakken bij de punten van in- en uittreden een helling tot elkander hebben als de vlakken van een prisma, wordt de straal tweemalen in dezelfde richting gebroken, zoodat hij de hoofd-as in eenig punt F snijdt. Een andere straal M wordt evenzoo van zijnen weg afgeleid en, hoewel verder van de hoofd-as verwijderd, ontmoet hij deze toch ook in het punt F. Dit is een gevolg van de grootere helling, die hier de vlakken van in- en uittreden tot elkander hebben. Deze helling wordt grooter naarmate men den rand der lens meer nadert, en daardoor wordt eene grootere afwijking van den straal veroorzaakt.

Al de evenwijdige stralen zijn dus, na door de lens te zijn heengegaan, naar hetzelfde punt gericht: en zoo doende wordt een evenwijdige bundel licht door haar veranderd in een convergeerenden bundel. Het punt waar zoo de stralen samenkomen, die evenwijdig aan de as zijn, wordt evenals bij de spiegels het *hoofd-brandpunt* genoemd: wij duiden het, evenals daar, door de letter F aan. Een zoodanig brandpunt vormt zich zoowel aan de eene als andere zijde van de lens, al naarmate de *richting* is, volgens welke het licht invalt.

De plaats van het hoofd-brandpunt kan men altijd gemakkelijk bepalen; men behoeft daartoe slechts op de lens een bundel evenwijdige stralen, bijv. een bundel zonlicht te laten vallen, en vervolgens de gebroken stralen achter de lens op een

Fig. 237.

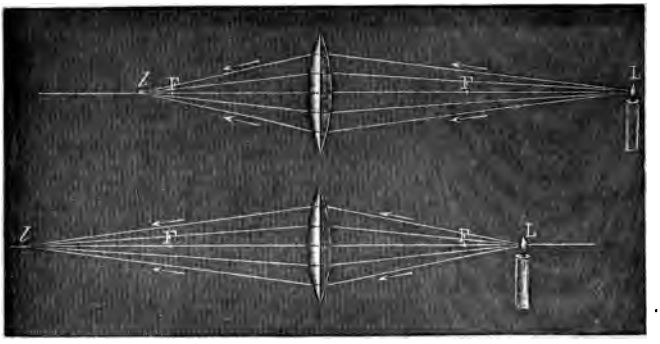


Fig. 238.

klein papieren scherm op te vangen. Terwijl men dit een weinig voor- of achteruit beweegt, vindt men de plaats, waar het op het scherm opgevangen lichtbeeld een maximum van sterkte verkrijgt: op dit punt bevindt zich het hoofd-brandpunt.

319. **Geconjugeerd brandpunt.** Wij hebben aangenomen, dat de lichtstralen evenwijdig invielen, dat een zeer verwijderde lichtbron veronderstelt: laat ons nu eens nagaan wat er plaats grijpt als deze lichtbron op kleinen afstand van de lens geplaatst is, maar toch altijd verder dan het hoofd-brandpunt (zie fig. 237). De bundel, die nu op de lens valt, is divergeerend: hieruit volgt, dat de stralen, na door de lens te zijn gegaan, nu minder snel convergeeren dan in fig. 236, en dat zij dien ten gevolge niet meer samenkomen in F, maar verder in punt *l*, dat men het *geconjugeerd brandpunt* van het punt L noemt, om, evenals bij de holle spiegels, de wederkeerige betrekking uit te drukken, die tusschen deze twee punten bestaat, eene betrekking die zoodanig is, dat zoo het lichtend voorwerp verplaatst wordt van het punt L naar het punt *l*, het geconjugeerde brandpunt zich verplaatst van *l* naar L.

De plaats van het geconjugeerde brandpunt is niet bepaald, maar is afhankelijk van de plaats van het lichtend voorwerp; hoe dichter die bij de lens is gelegen, hoe verder het geconjugeerde brandpunt er zich van verwijdert, zoo als fig. 238 dit aantoont, vergeleken met fig. 237; want daar de invallende stralen meer en meer divergeerend worden, is dit noodzakelijk ook het geval met de uittredende stralen.

Nemen wij nu eens aan, dat het lichtgevend voorwerp, steeds nader bij de lens komende, samenvalt met het hoofd-brandpunt der lens (fig. 239). Wij zagen dat in dit punt al de stralen, die evenwijdig aan de as loopen, samenkomen; er volgt hier wederkeerig uit, dat de lichtstralen, die van dit punt uitgaan, ook in tegengestelde richting denzelfden weg volgen, dat wil zeggen, zij vormen bij hun uittreden uit de lens een bundel licht, evenwijdig aan de hoofd-as, zoodat zich, op welken afstand ook, geen brandpunt kan vormen.

320. **Virtueel brandpunt.** Wij moeten nog een ander brandpunt beschouwen, het *virtueel brandpunt*. Nemen wij hiertoe aan, dat het lichtend voorwerp, terwijl het steeds nader bij de lens komt, tusschen deze en het hoofd-brandpunt in geraakt (fig. 240).

Fig. 239.

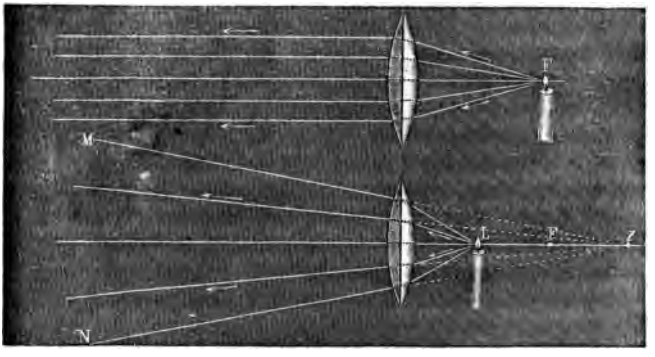


Fig. 240.

Het divergeeren van den invallenden bundel is hier grooter dan in fig. 239, daarom moeten de stralen, na de lens te zijn doorgegaan, *zich verder uit* elkander spreiden dan in deze figuur;

zij moeten dus divergeerend zijn, zoo als de bundel M N aantoont. Voor het oog, dat deze stralen opvangt, schijnen zij te komen van een punt *l*, waar zij verlengd zijnde samenkomen. Het lichtgevend voorwerp schijnt dus in dit punt gelegen te zijn, maar het is slechts een virtueel, een schijnbaar brandpunt, een gezichtsbedrog, evenals bij de holle spiegels, wanneer het lichtgevend voorwerp tusschen den spiegel en zijn hoofd-brandpunt geplaatst is (fig. 214).

321. **Herhaling van de eigenschappen der biconvexe lenzen.** Vatten wij kortelijk te zamen, wat wij in de vorige paragrafen gezegd hebben, dan leiden wij hieruit de drie volgende wetten voor de eigenschappen der biconvexe lenzen af:

1°. De aan de as evenwijdige lichtstralen komen, na door eene lens gegaan te zijn, in één punt samen, dat het hoofdbrandpunt is (fig. 236), en wederkeerig: de stralen die uit dit brandpunt uitgaan, vormen bij hun uittreden uit de lens een aan de as evenwijdigen bundel (fig. 239).

2°. De lichtstralen, die door een punt, buiten het hoofdbrandpunt, worden uitgezonden, treden convergeerend uit de lens uit en komen in een punt samen, dat men geconjugeerd brandpunt noemt (fig. 237); dit wordt gevormd zooveel verder achter de lens, als het lichtend voorwerp dichter bij het hoofd-brandpunt geplaatst is.

3°. Eindelijk treden de lichtstralen, die van een punt uitgaan, gelegen tusschen de lens en het hoofd-brandpunt, divergeerend uit en doen een virtueel brandpunt ontstaan aan den kant van het voorwerp (fig, 240).

Deze kennis van de plaats der brandpunten is onmisbaar voor de verklaring der beelden, die door lenzen worden voortgebragt.

VORMING VAN BEELDEN DOOR LENZEN.

322. **Reëele beelden door biconvexe lenzen voortgebracht.** De breking van het licht in de biconvexe lenzen doet beelden ontstaan, die men kan vergelijken met de beelden, welke door de terugkaatsing in de holle spiegels voortgebracht worden en die even als deze in twee soorten kunnen onderscheiden worden: zij zijn òf reëel òf virtueel.

Een reëel beeld wordt gevormd telkens wanneer eenig voorwerp voor eene convergeerende lens geplaatst wordt, voorbij

haar hoofd-brandpunt: de lens brengt dan aan de andere zijde een omgekeerd beeld van het voorwerp voort, dat op een scherm kan opgevangen worden en merkwaardig is wegens de juistheid van tint en omtrek: het is het reëele beeld.

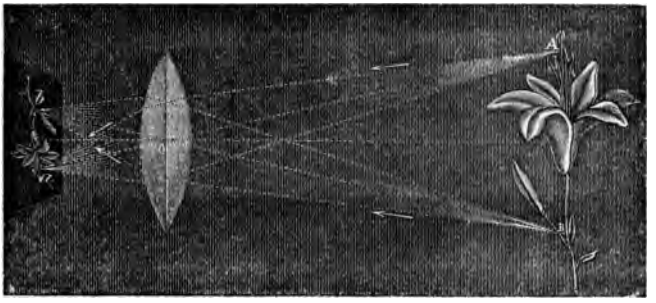


Fig. 241. Reëel beeld van de convergeerende lenzen.

De vorming van dit beeld is gemakkelijk te verklaren, als wij nagaan hetgeen van de geconjugeerde brandpunten gezegd is (303). Wij moeten hierbij voegen, dat al de eigenschappen van de hoofd-as eener lens toegepast kunnen worden op de neven-assen; hieruit volgt dat, evenals een punt op de hoofd-as zijn brandpunt op deze as heeft, een punt gelegen op eene neven-as zijn brandpunt ook op deze neven-as hebben zal. Wij zien nu dat in vorenstaande figuur, de lichtstralen van A uitgegaan convergeerend komen in *a*, gelegen op de neven-as, die door het punt A gelegd is, en daar een geconjugeerd brandpunt vormen van dit punt, dat is te zeggen, zijn beeld. Zoo wordt ook het beeld van punt B in *b* gevormd en, daar het zelfde plaats grijpt voor al de punten van het voorwerp, ontstaat er een geheel van geconjugeerde brandpunten, die het beeld *a b* samenstellen, dat omgekeerd en verkleind is: de omkeering vloeit voort uit de kruising der neven-assen tusschen het voorwerp en het beeld, en de verkleining ontstaat daardoor, dat het gevormd wordt dichter bij de lens, dan het voorwerp gelegen is.

Maar het beeld is niet altijd kleiner dan het voorwerp, het kan ook grooter zijn. Naar de wederkeerige betrekking die er bestaat *tusschen* de plaats van het voorwerp en van

zijn geconjugeerd brandpunt (303), zullen, zoo in genoemde figuur *a b* het voorwerp was, de lichtstralen denzelfden weg volgen en een beeld in A B vormen, altijd omgekeerd maar grooter. Eene biconvexe lens kan dus reëele beelden geven, die grooter of kleiner dan het voorwerp zijn. Om dit aan te toonen neemt men de volgende proef: in eene donkere

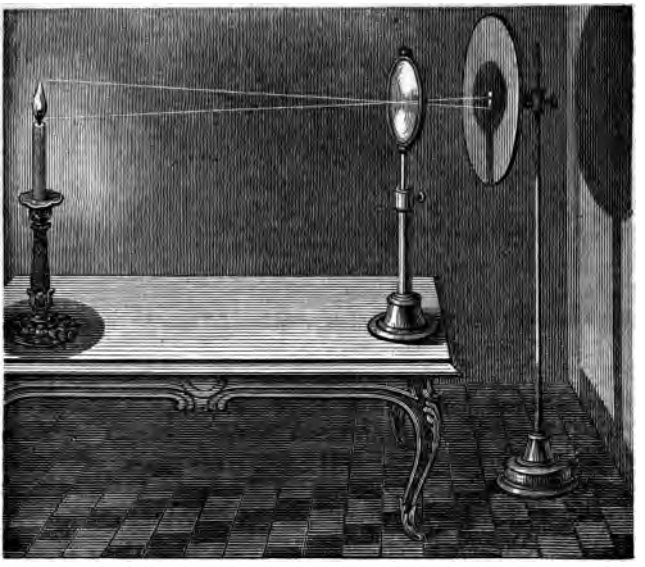


Fig. 242. Verkleind beeld van het voorwerp.

kamer plaatst men eene biconvexe lens, en vóór deze op eenige meters afstand van het hoofd-brandpunt eene brandende kaars. Achter de lens brengt men nu een scherm, dat men meer of minder doet naderen; nu vindt men eene plaats waar zich een zeer klein en omgekeerd beeld van de kaars vormt, zoo als fig. 242 aantoont. Brengt men integendeel de kaars dichter bij de lens, en vergroot men te gelijker tijd den afstand van het scherm, dan krijgt men weer een omgekeerd, doch zeer vergroot, beeld (zie fig. 243).

Deze eigenschap der biconvexe lenzen, *dat zij reëele, zeer*

verkleinde beelden van de verwijderde voorwerpen geven, en integendeel *zeer vergroote van de nabijgelegene*, is van groot be-

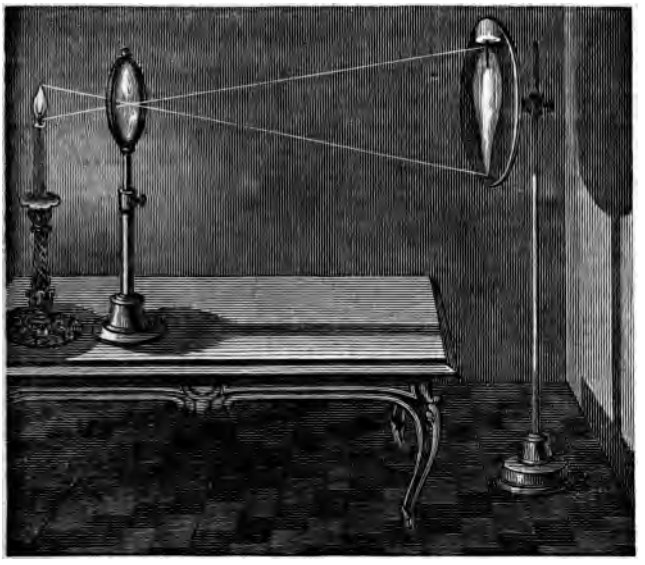


Fig. 243. Vergroot beeld van het voorwerp.

lang en vindt talrijke toepassingen bij de optische instrumenten, die wij weldra zullen beschrijven, bij den microscoop, den verrekijker, de tooverlantaarn, de phantasmagorie enz.

323. **Virtueel beeld door eene biconvexe lens.** Behalve het reëele beeld, dat wij nu beschouwd hebben, geven de biconvexe lenzen ook nog een virtueel beeld, dat gevormd wordt even als het virtueel brandpunt (zie 320), dat is, als het voorwerp gelegen is tusschen de lens en het hoofd-brandpunt. Stellen wij ons een voorwerp voor *a b* (fig. 244), dat geplaatst is tusschen eene biconvexe lens en haar hoofdbrandpunt, en passen wij hier toe, wat wij straks van de virtueele brandpunten gezegd hebben, dan weet men, dat de stralen die van eenig punt *a van het* voorwerp uitgaan, divergeerend zijn en

in het oog komen alsof zij van een punt A kwamen, waar deze stralen, verlengd zijnde, zouden samenkomen, en waar zich dus voor het oog een virtueel beeld van *a* vormt. Om dezelfde reden ziet het oog in B het beeld van punt *b*. In A B zien wij dus een beeld van *a b*, maar het is virtueel, het

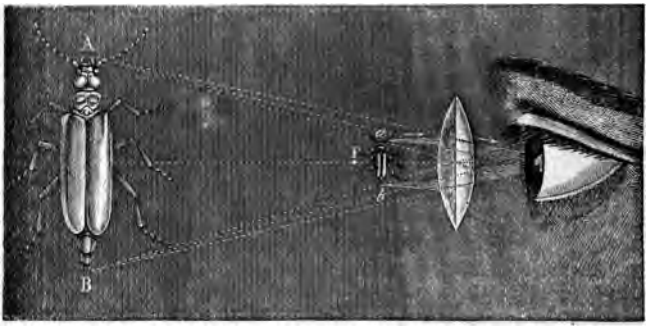


Fig. 244. Virtueel beeld van eene convergeerende lens.

bestaat niet, men kan het niet op een scherm opvangen, in één woord, het is een gezichtsbedrog.

Men moet hierbij opmerken, dat het virtueel beeld recht is en altijd grooter dan het voorwerp; dat het beeld recht is, komt hierdoor, dat de neven-assen zich niet snijden tusschen dit en het voorwerp, maar verder: en dat het beeld grooter dan het voorwerp is, vloeit daaruit voort, dat het beeld verder dan het voorwerp van het snijpunt der neven-assen, die door de punten *a* en *b* gelegd zijn, afgelegen is.

De lensvormige glazen, als vergrootglazen in gebruik, worden *loup* genaamd. Iedereen heeft wel eens waargenomen, dat, dichtbij door een loup ziende, de letters uit een boek veel dikker schijnen: verwijdert men langzamerhand de loup, dan komt er een oogenblik, waarop de letters verdwijnen, zij zijn dan in het hoofd-brandpunt; gaat men door met het verwijderen der loup, dan komen de letters weer te voorschijn, maar omgekeerd, omdat zij dan aan gene zijde van het hoofd-brandpunt zijn.

324. **Biconcave lenzen, brandpunten en beelden.** Wij hebben *bij de* biconvexe lenzen gezien, dat, daar de dikte toe-

neemt van het midden tot aan de randen, de kleine platte vlakken, die tegen elkander overstaan bij het in- en uittreden van een zelfden straal, steeds meer helling verkrijgen van het middelpunt af tot den omtrek toe. Bij de biconcave lenzen, die in het midden dunner dan aan den rand zijn, heeft juist het omgekeerde plaats. Terwijl de biconvexe lenzen de stralen, die er doorheen gaan, doen convergeeren, daar zij die stralen tweemaal breken in denzelfden zin en ze zoo tot de hoofd-as doen naderen, brengen de biconcave lenzen iets te weeg, dat juist omgekeerd is, zij vermeerderen het divergeeren der stralen.

Dit verschijnsel kan men gemakkelijk verklaren als men let op fig. 245, waarin men ziet hoe de lichtstralen tweemaal van hun weg afwijken, terwijl zij zich van de as verwijderen en zoo een divergeerenden bundel M N doen ontstaan. Het oog, dat dezen bundel opvangt, krijgt den indruk alsof het lichtend punt in *l* geplaatst was; er vormt zich dus een virtueel brandpunt, het eenige, dat bij biconcave lenzen mogelijk is.

Daar deze lenzen alleen virtueele brandpunten hebben, kun-

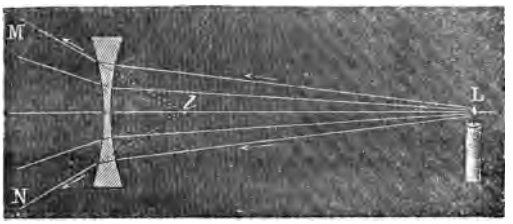


Fig. 245.

nen zij ook slechts virtueele beelden geven; deze beelden zijn altijd recht en kleiner dan het voorwerp. Laat A B een voorwerp zijn, dat door een biconcave lens heen gezien wordt (zie fig. 246), dan wijkt de lichtbundel van het punt A van zijn weg af, terwijl hij door een lens gaat en komt in het oog, alsof hij kwam van een punt *a*, op de neven-as A O gelegen. Zoo komt ook de bundel B in het oog, alsof hij kwam van het punt *b*. Er wordt dus tusschen de neven-assen A O en B O *een virtueel* beeld *a b* gevormd, van het voor-

werp A B, welk beeld kleiner is dan het voorwerp en recht. Dit beeld is noodzakelijk altijd veel kleiner dan het voorwerp,

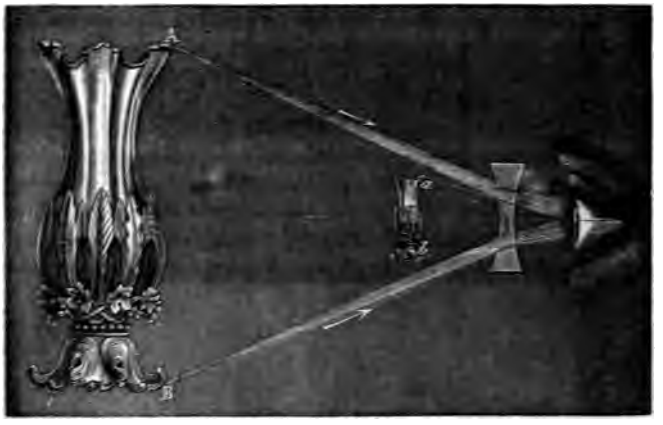


Fig. 246 Virtueel beeld der divergeerende lenzen.

omdat het dichter bij het punt O is, waar de neven-assen elkander snijden.

TOEPASSING DER LENZEN.

325. **Breking der warmtestralen.** De warmtestralen, die dezelfde wetten van terugkaatsing als het licht (200) volgen, zijn ook aan de wetten van breking onderworpen. Vangt men met eene convergeerende lens een bundel zonlicht op, dan vindt men in het brandpunt niet alleen eene verzameling, eene opeenhooping van licht, maar ook van warmte; want zoo men op deze plaats een brandbaar ligchaam brengt, als zwam, papier, katoen, wol, zelfs hout, ontbrandt dit duidelijk. Zoo de lens groote afmetingen heeft, kan men er zelfs metalen mede smelten.

Deze eigenschap der convergeerende lenzen kan nuttig gebruikt worden om zich vuur te verschaffen; maar zij kan ook gevaarlijk worden en brand veroorzaken, als men eene lens [illegible]eld laat aan de zonnestralen. Hetzelfde ongeval kan [illegible]ijpen door met water gevulde vaten als zij sphérisch

zijn, als onze karaffen; want zij breken èn licht- èn warmtestralen als biconvexe lenzen.

De opeenhooping van de warmtestralen der zon door lenzen heeft eene toepassing gevonden bij sommige zonnewijzers,

Fig. 247. Breking der warmtestralen.

welke het middaguur door het afgaan van een klein kanon doen kennen (fig. 247). Boven het kanon vindt men eene convergeerende lens, wier brandpunt juist overeenkomt met het laadgat van het kanon, op het oogenblik dat de zon door den meridiaan der plaats gaat. Is nu het kanon van te voren geladen en is er kruid in het laadgat, dan doet de lens het kruid juist op den middag ontbranden en de losbarsting verkondigt tot in de verte het uur.

326. **Lichttorens.** Men noemt *kustlichten (phares)* die lichten, welke 's nachts op hooge torens langs de zeekusten ontstoken worden om de zeelieden in de duisternis te leiden en om hen de klippen te doen vermijden. De kustlichten waren bij de ouden reeds bekend en het beroemdste is dat geweest, hetwelk Ptolemaeus Philadelphus deed oprichten, in het jaar 470 na de stichting van Rome, op het kleine eiland Pharos, dicht bij Alexandrië, dat later door de aanslibbingen van den Nijl aan het vasteland is verbonden. Van dit eiland ontleenden die torens den naam van phares, op welke men lichten ontsteekt om tot sein aan de zeevarenden te dienen.

In het begin werden de phares verlicht door het verbranden van hout, kool of harsachtige zelfstandigheden; maar deze lichten waren zwak en veranderlijk. Men verving ze later door olielampen, die in het hoofd-brandpunt van holle spiegels (reflecteurs) geplaatst werden, welke tot op verren afstand den bundel evenwijdige stralen (302) met groote intensiteit

Fig. 248.

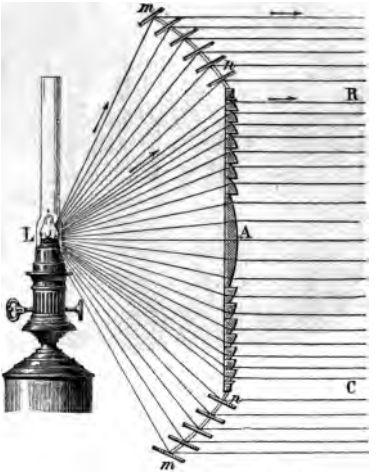


Fig. 249.

Trapvormige lens.

terugkaatsen. Dit was reeds veel gevorderd. Het was echter Fresnel, beroemd door zijne geleerde onderzoekingen aangaande de undulaties van den aether, die in 1822 aan de phares de volkomenheid gaf, welke zij thans bezitten.

Fresnel liet de metalen reflecteurs varen, omdat zij zoo spoedig dof worden door de uitdampingen der zee, en verving hen door groote plan-convexe lenzen, in wier brandpunt hij eene lamp plaatste met vier concentrische pitten, die èn in lichtvermogen èn in verbruik van olie gelijk staat met 17 carcellampen. Maar de moeijelijkheid om lenzen te maken, die, groot genoeg waren, en de noodzakelijkheid tevens om ze weinig dikte te geven, ten einde zoo veel mogelijk de opslorping, licht tegen te gaan, dwongen Fresnel een bijzonder stelsel

van lenzen aan te nemen, die door Buffon uitgevonden zijn, en den naam dragen van *trapvormige lenzen.*

Van voren gezien in fig. 248 en op zijde in fig. 249 bestaan zij uit eene plan-convexe lens A, van 30 centimeters

Fig. 250. Doorsnede van een kustlicht van den eersten rang.

middellijn, rondom welke ten getale van acht of tien glazen ringen geplaatst zijn, die ook plan-convex zijn en waarvan de kromming zoodanig is, dat ieder van hen hetzelfde brandpunt als de centrale lens A heeft. Eene lamp in het brandpunt L van dit stelsel geplaatst (zie fig. 249), geeft een

krachtigen horizontalen lichtbundel R C, die zich tot op verren afstand verspreidt. Ook heeft men nog onder en boven deze lenzen verscheidene lagen verfoeliede glazen spiegels *m n* aangebracht, die het licht, dat boven en onder nutteloos verloren ging, opvangen en in horizontale richting terugkaatsen.

Fig. 251. Verlichting der vuurtorens.

Hierdoor verkrijgt men een sterken horizontalen bundel, die maakt dat het licht der lamp tot op 60 à 70 kilometers *zichtbaar is*, echter slechts in ééne richting. Om het aantal *punten van* den horizon, waarvoor het licht zichtbaar zoude zijn,

te vergrooten, heeft Fresnel, in plaats van één stelsel lenzen en spiegels, voorgesteld in fig. 249, acht zoodanige vereenigd in eene groote, achtzijdige, glazen pyramide, zooals wij in fig. 250 zien, waarin een kustlicht van den eersten rang is afgebeeld.

Als de phare zoo is samengesteld, worden acht punten van den horizon sterk verlicht, maar al de andere zijn van licht verstoken, zoodat de phare voor de schepen, die in die duistere gedeelten varen, van geen nut hoegenaamd zoude zijn. Fresnel heeft op eene eenvoudige wijze deze zwarigheid uit den weg geruimd. Een horloge-werk M, bewogen door een gewicht P, geeft aan het geheele lenzenstelsel A B eene langzaam draaijende beweging op de zes leirollen. Gedurende eene totale omwenteling van het toestel, wordt dus de geheele horizon achtereenvolgens verlicht en de zeeman ziet *het licht* achtmaal verschijnen en achtmaal verdwijnen. Dit verschijnen en verdwijnen, dat men den naam van *eclipsen* geeft, kan de kustlichten uit elkander doen herkennen, daar men voor elk kustlicht het aantal eclipsen in een gegeven tijd een ander doet zijn.

Daar de phares zooveel verder zichtbaar zijn naarmate zij hooger staan, plaatst men ze, zoo als fig. 251 doet zien, op torens, die van 50—80 meters hoog zijn. De kusten van Frankrijk en Engeland, aan weerszijden van het kanaal, zijn op deze wijze door talrijke vuurtorens verlicht, zoo als onze straten door de gas-lantaarns.

Mogt de gelegenheid zich voordoen om zulk een kustlicht te bezoeken, dan raden wij dit onzen lezers ten sterkste aan. De inrichting is zoo vernuftig en het nut zoo in het oogloopend, dat het de moeite rijkelijk beloont.

Op de eigenschappen der lenzen komen wij straks nog terug, als wij hare belangrijke toepassingen bij de optische instrumenten, als: brillen, telescopen, microscopen, enz. beschrijven. Eerst zullen wij ons bezig houden met de schitterende kleurs-verschijnselen, welke ons de prisma's aanbieden, als een lichtbundel door hen gebroken wordt.

HOOFDSTUK V.

ONTLEDING VAN HET LICHT DOOR PRISMA'S.

327. **Zonne-spectrum.** Terwijl wij de prisma's en lenzen behandelden, hebben wij alleen de verandering in richting, welke deze doorschijnende middenstoffen aan de lichtstralen mededeelen en de verschillende beelden, die er het gevolg van zijn, beschouwd. Wanneer echter een bundel zonlicht door een prisma heengaat, wordt hij niet alleen veranderd in richting, maar hij wordt daarenboven *ontleed in meerdere soorten van verschillend gekleurd licht;* een merkwaardig verschijnsel, dat bekend is onder den naam van *dispersie*, en dat wij door de volgende proef, die wij aan Newton verschuldigd zijn, aantoonen.

Door eene kleine opening in het luik van een donkere kamer valt een bundel zonlicht, welke opgevangen wordt door een horizontaal geplaatst glazen prisma, zoo als fig. 252 aantoont. Wij zagen reeds, (fig. 229), dat al de stralen, die dezen bundel vormen, tweemaal in denzelfden zin gebroken worden bij het in- en uittreden van het prisma: de proef, die wij nu nemen toont ons aan dat zij niet allen evenzeer gegebroken worden. In plaats van op een scherm, dat op eenigen afstand staat, een cirkelvormig beeld van denzelfden vorm als de opening te maken, geven deze stralen een zeer verlengd vertikaal beeld, hetwelk doet zien, dat de eerst cirkelvormige bundel zich zeer uitgezet heeft in de richting van de breking. En nog meer, het verlengde beeld op een wit scherm opgevangen, in plaats van kleurloos te zijn, vertoont in de lengte de schoone regenboog-kleuren met eene helderheid en rijkdom van tinten, waarvan men zich, zonder het gezien te hebben, geen voorstelling kan maken. Dit heerlijk beeld, welks voortbrenging eene der schoonste proeven van het licht is, heeft den naam van *zonne-spectrum* ontvangen. (1)

Door Newton is reeds in het begin van 1666 de theorie der prismatische kleuren opgesteld; hij onderscheidde 7 hoofdkleuren in het spectrum, welke van boven naar beneden gerekend in figuur 252 zijn:

Violet, indigo, blauw, groen, geel, oranje, rood.

---

(1) *Zie de* kleurendruk vóór den titel.

Doch deze kleuren gaan onmerkbaar in elkander over. Hierdoor zijn er oneindig vele tinten in het spectrum.

Naar den rang, waarin de kleuren in het spectrum voorkomen, zien wij, dat het violet het meest afgebogen wordt:

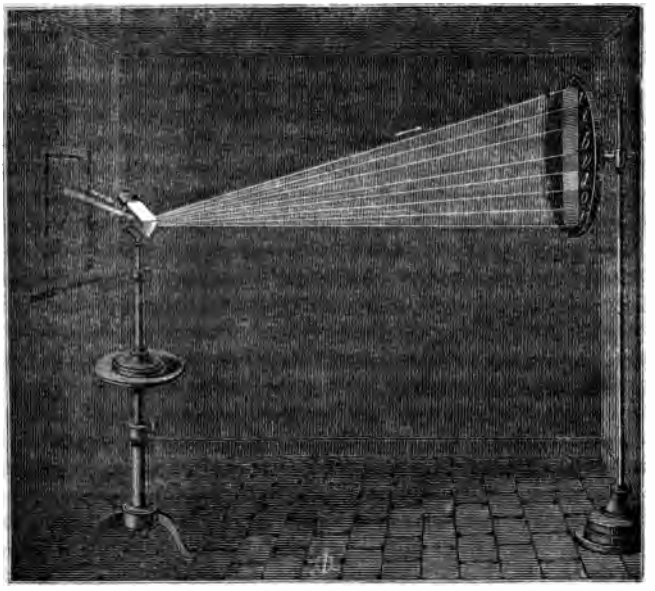


Fig. 252. Zonne-spectrum.

men drukt dit uit door te zeggen, dat het violet het meest breekbaar is. De graad van breekbaarheid neemt van het violet tot het rood toe af, terwijl deze kleur het minst wordt afgebogen.

Uit de zoo even genoemde proef van het spectrum besloot Newton, dat het *witte (kleurlooze)* licht, dat wil zeggen ons gewoonlijk verstrooid daglicht en evenzoo het rechtstreeksche zonlicht, niet homogeen of enkelvoudig licht is, maar samengesteld uit zeven verschillende soorten van licht, welke vereenigd *wit* vormen, terwijl zij ieder afzonderlijk eene bijzondere kleur hebben. Het licht dat slechts uit ééne kleur bestaat noemt men homogeen, enkelvoudig licht. Newton schreef deze scheiding of *ontleding* toe aan den verschillenden graad van

breekbaarheid van deze zeven soorten van licht. Waren zij allen even breekbaar, dan zouden zij het prisma doorgaan zonder gescheiden te worden, en het licht zoude bij het uittreden even wit als bij het intreden van het prisma zijn.

328. **De zeven kleuren van het spectrum zijn enkelvoudig.** Vangt men een van de bundels van het spectrum, bijv. den gelen bundel, door een tweede prisma op, dan wordt hij wel weder afgebogen, maar zonder ontleding: dat wil zeggen, er is slechts een uittredende bundel en deze is geel als de intredende. Hetzelfde heeft plaats voor al de kleuren van het spectrum; men besluit hieruit, dat zij niet door het prisma kunnen ontleed worden: daarom noemt men de zeven kleuren van het spectrum *enkelvoudige* of *grondkleuren*.

Wat nu de oorzaak aangaat, waardoor dit gedeelte van het spectrum in ons het gevoel van rood opwekt, een ander dat van oranje, weder een ander dat van geel, enz. de theorie der undulatie leert ons, dat men haar moet toeschrijven aan het aantal trillingen van de aether-moleculen. Dit aantal, dat zeer aanmerkelijk is, verschilt voor elke kleur van het spectrum en neemt toe van het rood tot het violet. Men heeft berekend dat voor het rood het aantal trillingen is 458 millioenen van den tweeden rang en voor het violet 727 millioenen van den tweeden rang in de seconde. Terwijl alzoo de kleur van het licht afhangt van het aantal trillingen, hangt de intensiteit af van de uitgebreidheid van die trillingen, welke altijd uiterst klein is.

329. **Lichtgevende, warmtegevende en chemische eigenschappen van het spectrum.** De zeven verschillende bundels van het spectrum verschillen niet alleen in kleur, maar ook in het lichtend vermogen, in de warmte die hen vergezelt en eindelijk in de chemische verschijnselen, waartoe zij aanleiding geven. Beschouwen wij hen eerst ten opzichte van hun lichtgevend vermogen, dan vinden wij dat de middelste bundels, dat is het groen en het geel, het sterkst verlichten. De letters van een boek bijv. kunnen, in den gelen bundel geplaatst, van veel verder en veel duidelijker gezien worden, dan in het rood of het violet.

Om het warmtegevend vermogen van de verschillende bundels na te gaan, plaatst men een zeer gevoeligen thermometer achtereenvolgens in de verschillende gedeelten van het spec-

trum en men neemt waar, dat het in het rood is en zelfs een weinig daar buiten, dat de warmte hare grootste intensiteit bereikt: hetgeen het bestaan van onzichtbare warmtestralen bewijst, die minder breekbaar zijn dan al de andere stralen van het spectrum.

Gaan wij tot de chemische werking van het licht over, dan zien wij dat het de meeste plantaardige kleuren tracht te vernietigen, zoo als ons dagelijks de katoenen stoffen en de gekleurde behangsels aantoonen, die, aan het licht blootgesteld, *verschieten*. In de scheikunde kennen wij stoffen, die, van natuur wit, door de werking der lichtstralen zwart worden, en sommige gasmengsels, die, aan het licht blootgesteld, plotseling ontploffen. Dit zijn allen chemische verschijnselen, maar zij worden niet door alle bundels van het spectrum te voorschijn geroepen: het is in het violet en een weinig daarbuiten, dat zich de chemische werking het sterkst vertoont.

Het hierboven gezegde kort samenvattende, zien wij dat in het uiterste rood het warmtegevend vermogen voornamelijk zetelt, in het geel het lichtgevend vermogen en in het uiterste violet de chemische werking.

330. **Samenstelling van het witte licht uit de prismatische kleuren.** Na met behulp van het prisma het witte licht in zeven verschillende gekleurde lichtsoorten ontbonden te hebben, is het wel van belang om na te gaan, of men uit deze zeven kleuren het witte licht weer kan samenstellen. Dit wordt bewezen door de volgende proeven:

1°. Men laat een bundel zonlicht door een prisma gaan, zoo als fig. 252 aantoont, en men vangt het spectrum op, niet op een scherm, maar op een eenigszins groote biconvexe lens (zie fig. 253) in wier brandpunt men een klein matglazen of papieren scherm plaatst. De zeven kleuren van het spectrum komen dan samen in het brandpunt, waar zich op het scherm een cirkelvormig, volkomen wit beeld vormt, hetgeen bewijst, dat de hereeniging van de zeven soorten van licht van het spectrum wederom wit licht voortbrengt.

2°. Men geraakt tot dezelfde uitkomst, als men de biconvexe lens van de vorige proef vervangt door een hollen spiegel. De zeven gekleurde bundels kaatsen terug in dezen spiegel en vormen ook een wit beeld in zijn brandpunt.

3°. *Men kan ook nog* aantoonen, dat de hereeniging van

de zeven spectrale kleuren wit licht geeft, door de schoone proef, die wij aan Newton verschuldigd zijn. Men plakt op

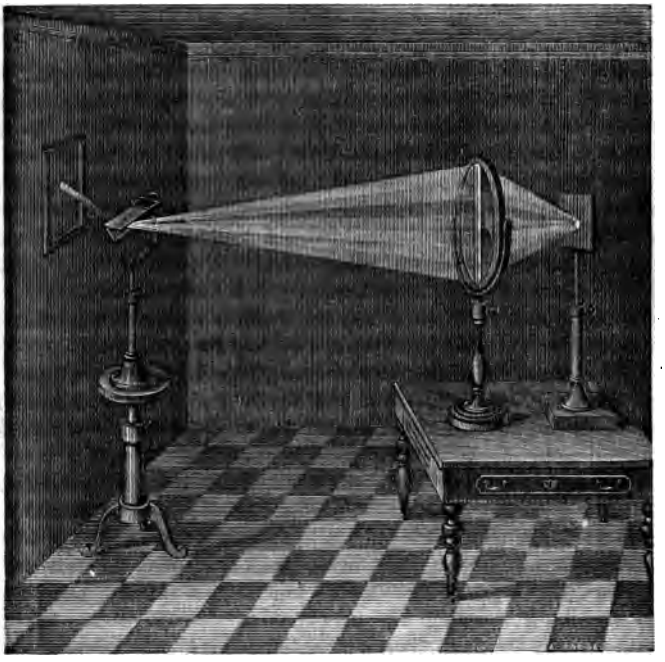


Fig. 253. Samenstelling van het witte licht uit de prismatische kleuren.

een kartonnen schijf, die ongeveer 35 duimen middellijn heeft en in het midden en aan den rand zwart is, van het middelpunt uit strooken rood, oranje, geel, groen, blauw, indigo, violet gekleurd papier, zoodat zij allen sectoren van den cirkel zijn en kringsgewijze vijf beelden van het zonne-spectrum nabootsen (zie fig. 254). Men bevestigt deze *kleur-schijf* op eene horizontale as en doet haar zeer snel ronddraaijen, door een toestel, dat wij in fig. 255 voorstellen. Nu ziet men de kleuren verdwijnen en de schijf, goed verlicht zijnde, doet *zich aan ons* oog voor alsof zij wit, ten minste grijsachtig *wit ware.* Om dit verschijnsel te verklaren moeten wij opmer-

ken, dat de indruk, door een lichtend voorwerp op ons oog voortgebracht, eenigen tijd voortduurt. Wanneer men bijv. een glimmend stukje kool snel ronddraait, ziet men een volkomen

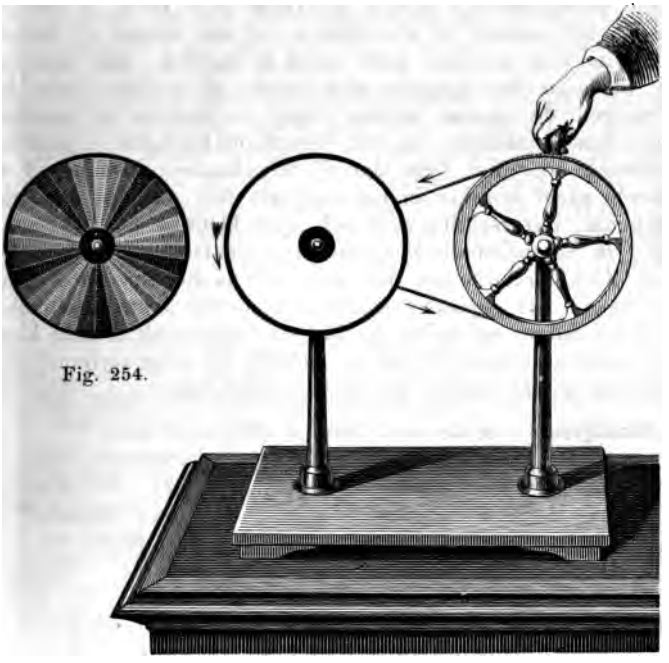


Fig. 255. Kleurschijf van Newton.

vurigen cirkel, hetgeen bewijst dat de indruk, op ons oog voortgebracht, nog voortduurt na het voorbijgaan van de glimmende kool voor ons oog. Zoo is het ook met de bovengenoemde proef, waar, door het zeer snel draaijen van de schijf, ons oog nagenoeg te gelijker tijd den indruk van de zeven kleuren ontvangt, en dus de schijf wit ziet.

331. **Theorie van Newton over de kleuren der ondoorschijnende ligchamen.** De ontleding van het witte licht door een prisma leidde Newton tot deze belangrijke gevolgtrekking: dat de ligchamen niet uit zich zelve gekleurd zijn, dat zij geen eigene kleur *hebben*, *maar dat* zij alleen de eigenschap hebben

door de doorschijnende middenstoffen werden doorgelaten, zouden deze natuurlijk kleurloos schijnen; maar dit heeft nooit plaats, ten minste wanneer deze middenstoffen de noodige dikte hebben: zij absorbeeren dus sommige kleuren in meerdere mate dan andere, en nemen dan de tint aan van die kleur, welke het meest wordt doorgelaten. Zien wij bijv. door eene dikke waterlaag heen, dan neemt het water eene blauwe tint aan; hetgeen bewijst dat het de blauwe kleur gemakkelijker laat doorgaan dan de andere kleuren, die in het witte licht voorhanden zijn. De lucht vertoont zich bij eene groote dikte blauw, eene dikke strook glas is groen. Het door koperoxydule rood gekleurde glas laat slechts de roode stralen door, en slorpt reeds bij eene geringe dikte ongeveer al het andere op. Zien wij door zulk een glas naar een spectrum, dan zien wij alleen het *roode* gedeelte van het spectrum: nemen wij een *groen* glas, dan zijn alleen de *groene* en aangrenzende tinten zichtbaar; ten minste zoo men tot de proef zuivere *monochromatische* (éénkleurige) glazen gebruikt.

333. **Aanvullingskleuren, nabeelden.** Newton noemde *complementskleuren* (*aanvullingskleuren*) die kleuren, die, vereenigd wordende, *wit* vormen. Breng door middel van eene biconvexe lens al de kleuren van het spectrum te zamen, uitgezonderd het *rood*, en gij zult in de plaats van *wit* eene *blauw-groene* tint verkrijgen; breng dan op een scherm deze tint te zamen met den afgezonderden *rooden* bundel, en gij zult wederom *wit* hebben. Groen is dus de aanvullingskleur van rood; zoo blauw van oranje, violet van geel.

In vele merkwaardige proeven ontvangt men deze complementskleuren. Bijv. plak op een zwarten grond een gekleurd voorwerp, een gekleurden ouwel, zie hem eenige minuten sterk aan, tot dat het gezicht vermoeid wordt; richt dan uwe oogen dadelijk naar een vel wit papier, dan zult gij weldra een beeld zien van gelijken vorm als het voorwerp, maar met de complementskleur; dat wil zeggen, zoo de ouwel rood is, is zijn beeld groen; is hij oranje, dan is het blauw en zoo vervolgens. Hetzelfde heeft plaats, wanneer men sterk naar de ondergaande zon ziet, en dan van dit roode voorwerp zijne blikken op een witten muur richt; men ziet dan eene schijf van intens (sterk) groen, die eenige oogenblikken *blijft*, daarna komt het roode beeld weer te voorschijn; een

tweede groen beeld volgt het roode op en zoo vervolgens een groot aantal malen, tot het verschijnsel geheel ophoudt.

Op deze beelden, die zoo nablijven, nadat men gedurende eenigen tijd een voorwerp heeft gadegeslagen, en die de aanvullingskleur van de kleur van het voorwerp vertoonen, heeft Buffon het eerst opmerkzaam gemaakt en er den naam van *accidenteele* of *nabeelden* aan gegeven.

Er is nog een geval van aanvullingskleuren, waarop ook Buffon de aandacht gevestigd heeft. Wanneer men langen tijd een gekleurd voorwerp, dat zich op een witten grond bevindt, sterk aanziet, dan ziet men weldra dit voorwerp omgeven door een lichtkrans, waarvan de kleur complementair is aan die van het voorwerp. Dit verschijnsel, bekend onder den naam van *accidenteelen lichtkrans*, is, door middel van een gekleurden ouwel op een blad wit papier geplakt, gemakkelijk waar te nemen.

Talrijke kleursverschijnselen zijn door deze nabeelden en accidenteele lichtkransen te verklaren: een zoodanig verschijnsel ziet men in de gekleurde schaduwen. Bij het opkomen en ondergaan der zon bijv. kan men somtijds op een witten muur groene schaduwen waarnemen als de zon rood is, en blauw als zij een oranjekleur vertoont.

Beziet men achtereenvolgens vele stoffen van dezelfde kleur, dan verkrijgen de laatste eene minder schoone tint; dit moet daaraan worden toegeschreven, dat langzamerhand het nabeeld zich begint te vormen en dit, zich met de kleur vereenigende, haar hare levendigheid en frischheid doet verliezen. Zoo is het ook met het drukken of borduren van patronen op een gekleurden grond; de kleur van het patroon wordt dan gewijzigd door de aanvullingskleur van den grond; hieruit vloeijen wel eens gevolgen voort geheel in strijd met die, welke men wilde verkrijgen. Dit verschijnsel, door Chevreul, directeur van de fabriek der Gobelins, nauwkeurig waargenomen, wordt het *contrast der kleuren* genoemd, en verklaard door den wederkeerigen invloed der accidenteele lichtkransen. Zijn twee nevens elkaar gelegene kleuren complementair, dan versterken, maar zijn zij nagenoeg gelijk, dan verzwakken zij elkander. Worden rood en oranje nevens elkander geplaatst, dan neemt het rood eene violette, het oranje eene gele tint aan. Plaatst men rood en blauw nevens elkander, dan helt het rood naar het geel, het blauw naar het groen over; in het geval van

geel en blauw, neemt het geel eene oranje-, het blauw eene indigo-tint aan. Men begrijpt van hoeveel belang het is bij het schikken der kleuren voor manufacturen, behangsel-papieren, draperieën, tapijten, enz. enz. op dit contrast der kleuren acht te geven; hoewel het waar is dat goede smaak reeds vóór de gegevens der wetenschap hierin met juistheid beslist heeft.

334. **Irradiatie.** De *irradiatie* is een verschijnsel, waardoor voorwerpen, die wit zijn of eene helle, levendige kleur hebben, wanneer zij op een donkeren grond gezien worden, ons voorkomen grootere afmetingen te hebben, dan zij werkelijk bezitten. Het omgekeerde heeft plaats, wanneer een zwart voorwerp op een witten grond gezien wordt.

Het gevolg van de irradiatie is zeer merkbaar bij de schijnbare grootte der hemelligchamen, die ons hierdoor veel grooter kunnen toeschijnen dan zij werkelijk zijn.

Naar de belangrijke onderzoekingen van Plateau, te Gend, verschilt de irradiatie aanmerkelijk bij den eenen persoon en den anderen en zelfs bij denzelfden persoon op den eenen of den anderen dag. Deze geleerde heeft bovendien duidelijk aangetoond, dat de irradiatie toeneemt met de helderheid van het voorwerp en met den duur der beschouwing.

335. **Regenboog.** Onder de prachtigste verschijnselen, welke de natuur ons door de breking van het licht aanbiedt, moeten wij nog den *regenboog* vermelden, waarvan de dichter zingt:

> Uit zevenkleurig lint is deze boog gebouwd,
> In vorm eenvoudig; maar den sterv'ling, die ze aanschouwt,
> Door haar betoovrend licht als eene poort des hemels.

Deze wordt gevormd als eene wolk zich in regen oplost, en vertoont altijd de zeven kleuren van het spectrum, in de opeenvolging zooals zij daar voorkomen. Dit toont eene ontleding van het witte licht der zon door de regendroppels aan. Daarenboven, daar de regenboog alleen zichtbaar is voor den waarnemer, die, naar de wolk ziende, zijn rug naar de zon heeft gewend, besluit men dat het licht, bij zijn intreden in dezen droppel, ontleed en daarna naar den waarnemer teruggekaatst wordt. Aan deze twee oorzaken, breking en terugkaatsing, moet men de vorming van den regenboog toeschrijven.

Om *dit* tweeledig verschijnsel te verklaren, stellen wij ons

twee regendroppels *a* en *c* voor, zie fig. 256, welke ten opzichte van den regenboog, waarvan zij een deel uitmaken, veel vergroot zijn afgebeeld. De bundel wit licht, die op droppel *a* valt, wordt gebroken en ontleed bij zijn intreden in dezen droppel en doet de zeven stralen, rood, oranje, geel, groen, blauw, indigo, violet, ontstaan (zie 327). Bij het punt *a* aan de achtervlakte van dezen droppel ontsnapt een gedeelte van dit gebroken licht en verstrooit zich in de atmospheer; het licht, dat den droppel niet verlaat, wordt bij *a* teruggekaatst, het komt weder naar voren en treedt uit den

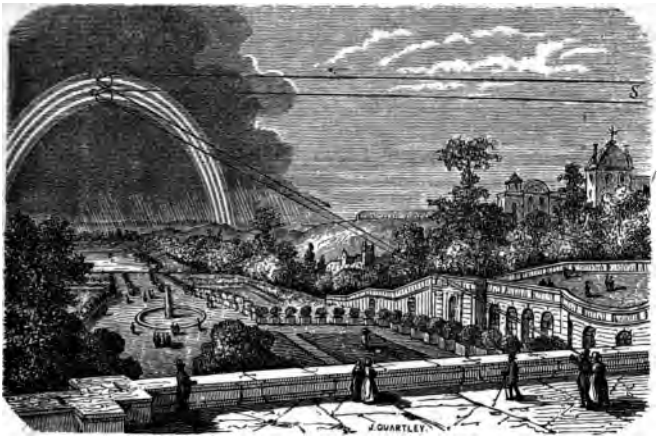


Fig. 256. Regenboog.

droppel uit, terwijl het weder gebroken wordt en zoo tot het oog van den waarnemer geraakt, zoo als wij in de fig. zien.

Een tweede droppel *c*, onder den vorigen geplaatst, geeft geheel hetzelfde verschijnsel; alleen, hij kaatst eene andere spectrale kleur den waarnemer toe. Want daar de verschillende kleuren een verschillenden graad van breekbaarheid hebben, divergeeren de gekleurde stralen, die uit een zelfden droppel uittreden, en planten zich dus niet gezamenlijk voort: hieruit volgt, dat elke droppel slechts ééne kleur den waarnemer doet toekomen. Nu kaatsen, naar den verschillenden graad van breekbaarheid van elken straal van het spectrum, de droppels, die aan den buiten-omtrek van den boog liggen,

alleen de roode stralen naar het oog; die aan den binnen-omtrek gelegen zijn alleen de violette. De andere kleuren ontstaan door de tusschenliggende droppels.

De regenboog is de basis van een kegel, welks top het oog van den waarnemer uitmaakt, en de mantel van dezen kegel bestaat van buiten naar binnen gerekend uit zeven lagen: rood, oranje, geel..... ieder overeenkomende met de kleuren van het spectrum. Hoe dichter de zon bij den horizon is, hoe grooter het zichtbare deel des regenboogs is, en naarmate de zon hooger rijst, in die mate wordt de boog kleiner, en hij verdwijnt geheel en al als de zon 42° boven den horizon staat. Om deze reden zien wij den regenboog alleen des morgens en des avonds.

HOOFDSTUK VI.

NADEELIGE INVLOED DER KLEURING BIJ DE LENZEN. ACHROMATISME.

336. **Afwijking der lichtstralen wegens hunne breekbaarheid (chromatische aberratie).** Terwijl wij de eigenschappen der lenzen behandelden, hebben wij niet gewezen op een gebrek, dat haar aankleeft; namelijk dat zij, op eenigen afstand van het oog geplaatst, beelden voortbrengen met gekleurde randen, welke vermoeijend voor het gezicht zijn en veel schaden aan de scherpte van omtrek dezer beelden.

Dit verschijnsel, waarvan wij de verklaring niet konden geven, eer wij de ontbinding van het licht door de prisma's hadden leeren kennen, is nu gemakkelijk te begrijpen. De lenzen kunnen worden vergeleken met eene reeks van prisma's, en geven dus aan den lichtbundel, die door haar heen gaat, niet alleen eene afwijking, maar zij ontleden dien bundel ook in de zeven spectrale kleuren. Er wordt dus niet slechts één brandpunt gevormd, zoo als wij tot nu toe aangenomen hebben; maar er zijn zeven brandpunten, één voor elke enkelvoudige kleur. De sterker breekbare violette stralen loopen samen in één punt v, dat dicht bij de lens gelegen is (zie fig. 257); terwijl de minder breekbare roode stralen verder samenloopen in r. Tusschen deze punten v en r bevinden

zich de brandpunten van indigo, blauw, groen, geel en oranje. Eene biconvexe lens geeft dus van een voorwerp, dat men er doorheen ziet, zeven ongelijk gekleurde beelden. Daar deze beelden elkander gedeeltelijk bedekken, vereenigen zich de zeven kleuren in het midden, zonder aan de juistheid van het beeld te schaden; maar aan de randen blijven de uiterste stralen van het spectrum, dat is voornamelijk het rood en het blauw.

Fig. 257.

Deze hinderlijke kleuring der beelden is bekend onder den naam van *chromatische aberratie*. Wij zullen zien hoe men in de optische instrumenten daaraan tegemoetkomt.

337. **Achromatische lenzen.** De zooeven genoemde gekleurde randen stonden de fijnere waarnemingen zoodanig in den weg, dat men reeds vroeg het verlangen koesterde naar *achromatische lenzen*, namelijk zoodanige, bij welke de brandpunten der verschillende gekleurde stralen juist te zamen vallen, welke dus beelden vormen geheel vrij van gekleurde randen. Langen tijd hield men het achromatisme voor eene onmogelijkheid; want Newton meende met de proef getoond te hebben, dat het licht dan alleen na breking *wit* is, wanneer de *uittredende* stralen evenwijdig zijn aan de *invallende* en in geen ander geval. Ware dit zoo, dan was het eene onmogelijkheid om kleurlooze beelden door brekende middenstoffen te verkrijgen, en dit was lang uit eerbied voor Newton's autoriteit de algemeene overtuiging.

Euler merkte in 1747 aan, dat eene combinatie van lenzen, welke het beeld niet kleurt, mogelijk moest zijn, daar wij er een voorbeeld van hebben in het menschelijk oog, en hij spoorde mathematisch de voorwaarden na, die voor zulk eene combinatie gevorderd worden.

Klingenstierna, een zweedsch wiskundige, toonde in 1754 aan, dat de regel van Newton niet algemeen waar kon zijn. Eindelijk herhaalde in 1757 John Dollond de proef van Newton en bekwam eene andere uitkomst. Hij vond, dat, wanneer men een voorwerp bezag door twee prisma's, één van

glas en één van water, met zulke brekende hoeken, dat het voorwerp *niet* verplaatst scheen, het dan *gekleurd* was. Hieruit volgde, dat, zonder gekleurd te zijn, aan de stralen eene breking kon gegeven worden, en dat men, voor prisma's lenzen nemende, tot eene combinatie komen kon, welke een beeld zou kunnen geven zonder het te kleuren; dat derhalve het vervaardigen van achromatische kijkers mogelijk was. Mr. Chester More Hall wordt gezegd reeds in 1729 achromatische kijkers vervaardigd te hebben, hiertoe geleid door zijne studie van het menschelijk oog, dat hij begreep achromatisch te wezen; doch hij hield zijne uitvinding geheim, en David Gregory had reeds in 1713 de meening geopperd, dat het wellicht eene verbetering zoude wezen, zoo men in navolging van het menschelijk oog het objectief der kijkers uit verschillende middenstoffen vervaardigde.

Euler aarzelde eerst om zijn vertrouwen aan de proeven van Dollond te schenken, maar Clairaut overtuigde hem van hare juistheid en deze twee groote wiskundigen gingen met d'Alembert voort in het zoeken van formules, welke dienstig konden zijn bij de toepassing van de ontdekking. Dollond gebruikte eerst voor zijn achromatisch objectief eene biconvexe lens van *crown-glas* en eene biconcave van *flint-glas*, eene veel lood houdende glassoort (zie fig. 258). Later bezigde hij twee lenzen van crown-glas, waartusschen ééne van flint-glas besloten was. Maar deze laatsten komen tegenwoordig niet meer in aanmerking. Blair en Barlow gebruikten als objectief eene combinatie van glaslenzen met eene vloeistof. Thans gebruikt men als achromatisch objectief eene dubbellens van crown- en flint-glas, waartusschen een laagje canada-balsem gebracht is, dat in brekend vermogen nagenoeg gelijk staat. De terugkaatsing aan de beide oppervlakten der lenzen, waardoor een verlies aan licht zoude ontstaan, wordt hierdoor verhinderd.

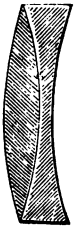


Fig. 258.

Daar de aldus uit flint- en crown-glas samengestelde lenzen geene gekleurde randen aan de beelden opleveren, geeft men haar den naam van *achromatische lenzen* (een grieksch woord dat *zonder kleur* beteekent) en de leer van deze lenzen *men* het *achromatisme*.

338. **Spherische aberratie, afwijking door bolvormigheid.** Behalve de fout der chromatische aberratie kleeft de lenzen nog eene fout aan, welke onder den naam van *spherische aberratie* bekend is. Zij is deze: dat de stralen die eene convergeerende lens doortrekken, allen niet juist in één brandpunt samenkomen. De stralen, die dicht bij den rand door de lens gaan, worden te sterk gebroken met betrekking tot die welke door het middengedeelte gaan. Hieruit vloeit voort, dat de eerstgenoemde stralen veel dichter bij de lens dan de laatste samenkomen; dit schaadt aan de zuiverheid der beelden.

Hieraan komt men bij de optische instrumenten te gemoet, door de lichtstralen, die door de randen der lens zouden gaan, te onderscheppen door een scherm dat in het midden eene cirkelvormige opening heeft, welke alleen de stralen, die dicht bij de as gelegen zijn, doorlaat.

HOOFDSTUK VII.

TOEPASSINGEN VAN DE EIGENSCHAPPEN DER LENZEN EN DER SPIEGELS.

339. **Optische instrumenten.** De eigenschappen der lenzen en spiegels hebben de natuurkundigen geleid tot het samenstellen van optische werktuigen, welke op eene verrassende wijze de grenzen van ons gezicht verruimd en zoo den gelukkigsten invloed uitgeoefend hebben op de vorderingen der wetenschap, daar zij ons nieuwe werelden deden ontdekken, die ons anders geheel onbekend zouden gebleven zijn, de eene door de verbazende kleinheid, de andere door den verren afstand. Van deze toestellen die, bekend onder den naam van *optische instrumenten*, berusten op vereenigingen van lenzen of van lenzen en spiegels, zijn de nuttigste de *microscopen*, zoo genoemd naar twee grieksche woorden, die *klein* en *zien* beteekenen, en de *telescopen*, die *verre zien* beteekenen. In deze laatste soort van werktuigen moet men rangschikken: den *astronomischen kijker*, den *aardschen kijker* of *verrekijker* en den *tooneelkijker*, die ook dienen om van verre te zien, maar toch verschillen van den eigenlijken telescoop, zoo als wij weldra zullen zien Eindelijk heeft men nog

ontelbaar vele optische toestellen uitgedacht, zoowel tot nut als tot vermaak. Zoodanige zijn de *tooverlantaarn*, de *phantasmagorie*, de *zon-microscoop*, de *photo-electrische microscoop*, de *chambre-obscure* en de *daguerreotype*.

340. **Algemeene samenstelling van de optische instrumenten.** Van de verschillende instrumenten, die wij hierboven opnoemden, zijn die van de eerste hoofdgroep, de kijkers en de microscopen, samengesteld uit twee lensvormige glazen: het eene, *objectief* genaamd, vangt het licht van het voorwerp op, brengt dit in een brandpunt samen en vormt daar een klein beeld, het andere, *oculair* genoemd, en als *loup* werkend, is dicht bij het oog geplaatst en dient om het door de eerste lens gevormde beeld te beschouwen. Bij de eigenlijk gezegde telescopen is het objectief door een hollen spiegel vervangen. Meestal zijn èn objectief èn oculair ieder niet uit ééne lens samengesteld, zooals wij er daareven eene onderstelden, maar uit meerdere, met het doel om meer aanmerkelijke vergrooting te verkrijgen en de spherische en chromatische aberratie te voorkomen. Eindelijk zijn deze glazen gevat in lange buizen, die van binnen dof zwart gemaakt zijn, om al de schuins invallende stralen, die aan de scherpte van het beeld zouden schaden, te absorbeeren; daarenboven kunnen deze buizen in elkander schuiven; hierdoor kan men de lenzen òf nader bij elkander brengen òf ze van elkander verwijderen en aldus het instrument *stellen* naar den afstand van de voorwerpen, die men beschouwt, en naar het oog van den waarnemer.

Wat de andere instrumenten aangaat, de tooverlantaarn, de phantasmagorie en de zon-microscoop, zij zijn ook samengesteld uit twee lensvormige glazen en ook beide zijn zij convergeerend, maar zij worden niet als boven gebruikt. Het doel is hier niet om het voorwerp door een oculair te beschouwen, maar om een zeer vergroot beeld daarvan op een scherm te werpen. Daar brengt de eerste lens, die eene groote middellijn heeft, eene groote hoeveelheid licht op het voorwerp om dit sterk te verlichten, terwijl de tweede lens vervolgens een beeld van het voorwerp op een scherm werpt.

341. **Hollandsche kijker of kijker van Galilei.** De uitvinding van dezen kijker wordt door sommigen aan het toeval toegeschreven: de zonen van Zacharias Janssen of van Joh. Lippershey, brillenmakers te Middelburg, zouden omstreeks het jaar 1600,

terwijl zij door een convex en een concaaf glas keken, gemerkt hebben, dat een voorwerp op eenigen afstand hun naderbij toescheen.

Uit de onderzoekingen echter van van Swinden is met zekerheid gebleken, dat Hans Lippershey, geboortig te Wesel en brillenslijper te Middelburg, als uitvinder der verrekijkers moet beschouwd worden. Uit eene resolutie der Staten-Generaal van 2 Oct. 1608 blijkt, dat hij hun een door hem vervaardigd *instrument om verre te zien* zond, vergezeld van een request, waarin hij *òf een octrooi van* 30 *jaren òf een jaarlijks pensioen verzocht*, waartegen hij aannam *zulke werktuigen alleen te maken ten dienste van den Lande, zonder aan eenige uitlandsche Koningen, Vorsten of Potentaten te mogen verkoopen.* Eene commissie werd uit de vergadering benoemd om met Lippershey over zijne uitvinding te spreken en hem op te dragen een verrekijker voor beide oogen te maken. Dat men met den kunstenaar ingenomen was en hoogen dunk van zijne bekwaamheid had, blijkt uit twee andere resolutiën van 4 en 6 Oct., waarbij hem de vervaardiging van drie zoodanige instrumenten wordt opgedragen en wel met lenzen van bergkristal. Dat Lippershey hieraan voldaan heeft, blijkt uit de resolutiën van 11 en 15 Dec. 1608 en van 13 Febr. 1609. Zijn verzoek om octrooi werd echter door de resolutie van 15 Dec. afgeslagen.

Weinige dagen later, 17 Oct. 1608, wendde zich Jacob Adriaansz. Metius met een soortgelijk request tot de Staten-Generaal; maar het is zeker, dat deze met de uitvinding van den Middelburgschen brillenslijper bekend was.

Hans en Zacharias Janssen schijnen geen aanspraak op de uitvinding der kijkers te hebben, maar wel op die der microscopen.

Galileï bevond zich in Junij 1609 te Venetië, toen hij kennis kreeg van een zoodanig in Holland vervaardigd instrument. Reeds den 23sten Aug. van dat jaar bood hij zijnen eersten kijker aan den doge en de raadsheeren aan. (*Over de twee gewichtigste Nederlandsche uitvindingen op natuurkundig gebied*, die van den verrekijker en van den microscoop, zie men P. Harting in het Album der Natuur, 1859, pag. 323—349 en 355—368).

De kijkers, die Galileï achtereenvolgens samenstelde, gaven eene vergrooting *van vier-*, acht-, en dertigmalen, en met deze

deed hij talrijke sterrekundige ontdekkingen, als de manen van Jupiter, de bergen op de maan, de zonnevlekken.

In fig. 259 zien wij hoe de lenzen geplaatst zijn in den kijker van Galileï en hoe de gang der lichtstralen door die lenzen is. Het objectief O is biconvex, terwijl het oculair *o* biconcaaf is. Zij A B het voorwerp, dat men door den kijker beschouwt, dan trachten de stralen, die van eenig punt van dat voorwerp, van A bij voorbeeld, uitgaan, een beeld te vormen aan gene zijde van het oculair *o*, maar daar zij de bi-

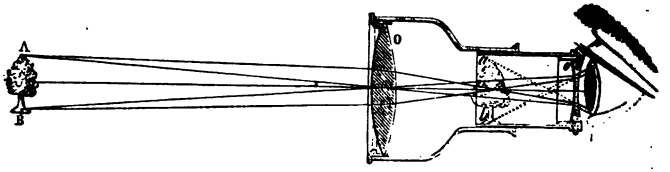


Fig. 259. Gang der lichtstralen in den kijker van Galileï.

concave lens *o* ontmoeten, worden deze stralen divergeerend, en voor het oog, dat hen opvangt, schijnen zij te komen van een punt *a*; hier wordt dus het beeld van het punt A gevormd. Evenzoo vormt zich het beeld van B in *b*: het gevolg is een rechtstaand, virtueel beeld *a b*, dat zeer nabij staat.

De kijker van Galileï heeft het voordeel van dadelijk de voorwerpen in hunne natuurlijke stelling te toonen, daarbij is hij klein en dus gemakkelijk in den zak te steken. Deze handelbaarheid is oorzaak, dat hij veel in onze theaters gebruikt wordt onder den naam van *tooneelkijker*, als hij enkel is, en onder dien van *dubbelen tooneelkijker* of *binocle*, *jumelle*, als men twee kijkers heeft, zoo als wij daareven beschreven hebben: in ieder oog wordt dan een beeld voortgebracht, waardoor de helderheid verhoogd wordt.

De *binocles*, wier gebruik thans zoo algemeen is, zijn door Rheita uitgevonden, en bijzonder door Chérubin d'Orleans, een Capucijner monnik, aanbevolen in 1671. Deze kijkers vergrooten weinig; doorgaans slechts twee of twee en een half maal.

Onder de benaming van *jumelles mégascopiques (sterk vergrotende binocles)*, worden sedert eenige jaren door Charles *evalier* dubbele tooneelkijkers vervaardigd, die, wat de ver-

grooting, de zuiverheid der lenzen en het gemis van spherische en chromatische aberratie aangaat, al zeer voortreffelijk zijn.

342. **Astronomische kijker.** Terwijl de kijker van Galileï het voordeel heeft van de voorwerpen te doen zien in hunne natuurlijke stelling, heeft hij echter het nadeel van slechts een

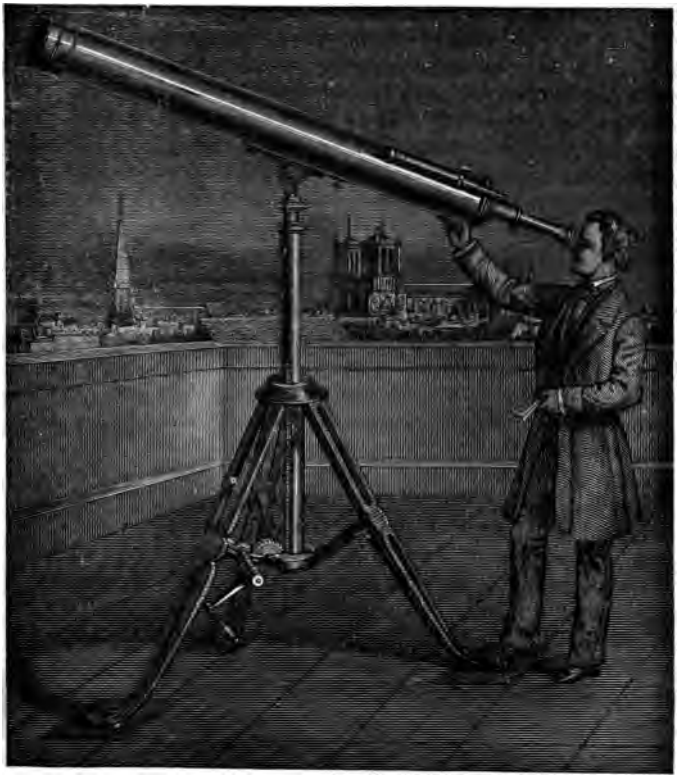


Fig. 260. Astronomische kijker.

zeer klein *veld* te hebben; dat wil zeggen, hij omvat slechts een klein gedeelte van de ruimte: hetgeen voortvloeit uit het divergeeren van de lichtstralen bij hun uittreden van het oculair. Dit divergeeren maakt dan ook noodzakelijk dat het oog zeer

dicht bij het oculair geplaatst zij, of anders wordt het veld nog kleiner. Daarom heeft men, ter waarneming van de hemelligchamen, den kijker van Galileï vervangen door eenen met twee convergeerende lenzen, welken wij aan Keppler verschuldigd zijn en die bekend is onder den naam van *astronomische kijker*. Deze kijker doet de voorwerpen omgekeerd zien, doch dit is niet hinderlijk bij de waarneming der sterren.

In fig. 260 zien wij de teekening van een der astronomische kijkers uit de werkplaats van Molteni. De kijker wordt gedragen door een gegoten ijzeren voet en is door een scharnier op eene kolom van hetzelfde metaal bevestigd, zoodat de kijker in alle hellingen naar elk punt van den horizon kan gericht worden. Eindelijk kan men, door middel van een handvat en twee getande raderen, den kijker naar willekeur doen rijzen en dalen. Op zijde van den kijker is een tweede bevestigd, die kleiner is en dien men *zoeker* noemt, omdat hij, minder dan de groote kijker vergrootende, een veel grootere ruimte van den hemel omvat en dus den sterrekundige in staat stelt de ster, welke hij zoekt, te ontdekken en deze vervolgens met den grooten kijker waar te nemen.

De plaatsing der glazen en de gang der lichtstralen in den astronomischen kijker is in fig. 261 voorgesteld. Wij zien,

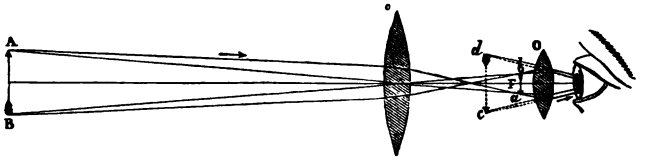


Fig. 261. Gang der lichtstralen door een astronomischen kijker.

dat de kijker uit twee convexe lenzen bestaat; het objectief *o*, van kleinen diameter en weinig convergeerend, vormt in *a b* een omgekeerd en zeer verkleind beeld van den pijl A B, naar welken de kijker gericht is. Dit beeld beschouwt men door het oculair O, dat hier als *loup* werkt (zie 323) en dat daarom zoo geplaatst is dat het beeld *a b* zich tusschen dit glas en zijn brandpunt F bevindt. De waarnemer ziet nu de *ster in c d* omgekeerd, doch zeer vergroot.

In den kijker van Galileï, evenals bij de andere kijkers,

kan de oogbuis, dat is de buis, waarin het oculair bevestigd is, in- of uitgeschoven worden en dus dichter bij of verder van het beeld *a b* gebracht worden, op den afstand van duidelijk zien van den waarnemer. In de vermogende kijkers is het oculair niet enkelvoudig, als in bovenstaande figuur, maar samengesteld uit meerdere lenzen, wier getal zelfs tot vijf opklimt, waardoor men niet alleen eene sterkere vergrooting verkrijgt, maar ook de fouten van de spherische en chromatische aberratie (zie 336 en 338) vermijdt.

Het vermogen van een astronomischen kijker is des te grooter, naarmate het objectief minder convex is en grooteren diameter (grooter opening) heeft en het oculair integendeel meer convex is. De sterkste kijkers, die men tegenwoordig vervaardigt, hebben een objectief van 38 centim. middellijn; de vergrooting kan gaan tot 3000 malen. Zulk een kijker is voor eenige jaren voor het Observatorium te Parijs gemaakt door de heeren Lerebours en Secrétan.

343. **Aardsche kijker of verrekijker.** Daar de astronomische kijker het gebrek heeft van de voorwerpen omgekeerd te doen zien, is het van belang, zoo men voorwerpen op aarde wil beschouwen, het beeld weder om te keeren. Men doet dit door twee convergeerende lenzen, welke men tusschen het objectief en het oculair in plaatst, zoo als fig. 262 aan-

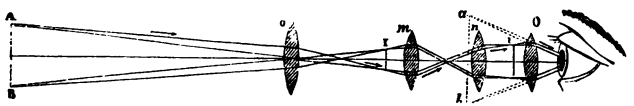


Fig. 262. Gang der lichtstralen in den verrekijker.

wijst. Het objectief *o* maakt in J een omgekeerd beeld van het voorwerp A B, en de twee lenzen *m* en *n* geven aan de lichtstralen, die door haar henen gaan, eene zoodanige richting dat zij, na zich tusschen die twee lenzen gekruist te hebben, een weder rechtstaand beeld vormen in *i*. Daar werkt weer het oculair O evenals in den astronomischen kijker en geeft een beeld *a b*, dat zeer vergroot en nabij is.

Na deze wijziging geeft men aan den astronomischen kijker den naam van *aardschen kijker* of *verrekijker*. Nu eens staat hij op een voetstuk als in fig. 260, dan eens is hij zonder

voet en wordt hij door den waarnemer met beide handen vastgehouden en gericht naar het voorwerp, dat hij beschouwen wil. Steeds is hij op zee en in de havens in gebruik om in de verte schepen te herkennen; in den oorlog dient hij om de bewegingen van den vijand te bespieden; en in een schoon landschap geeft hij aan hen, die op eene hoogte zijn, het genoegen van op verscheidene uren afstands nog plaatsen waar te nemen.

344. **Telescopen.** Wij zagen reeds (zie 339) dat het woord *telescoop* beteekent *van verre zien;* de verschillende kijkers, die wij tot nu toe beschreven, zijn dus in waarheid telescopen; ook droegen zij in het eerst dezen naam. Tegenwoordig geeft men dien naam slechts aan instrumenten, die uit spiegels en lenzen bestaan, en wier uitvinding, later dan die der kijkers, dagteekent van 1663—1673.

De meest bekende telescopen, die in dien tusschentijd ervervaardigd werden, zijn die van Gregory en Newton, die weinig onderling verschillen en waarvan wij eerst dien van Newton zullen beschrijven, die, langen tijd als het ware op zijde gezet, weer in gebruik gekomen is door de verbeteringen, welke Foucault aan het bearbeiden van den hollen spiegel, welke een deel van dit werktuig uitmaakt, heeft aangebracht.

Wij zien in fig. 363 een telescoop van Newton, door Fro-

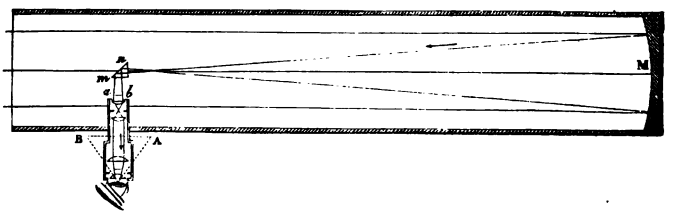


Fig. 263. Gang der lichtstralen in den telescoop van Newton.

ment samengesteld met al die verbeteringen, die wij aan hem te danken hebben. In fig. 264 hebben wij eene overlangsche doorsnede van bovenop gezien (à vol d'oiseau). Het voornaamste deel van dezen telescoop is een holle spiegel M, die aan het eind van eene lange houten buis staat. Deze spiegel was vroeger van gepolijst metaal vervaardigd, en het was *juist de* moeijelijkheid om zulke metalen spiegels te bewerken

en er de juiste kromming aan te geven, die het gebruik van telescopen met terugkaatsing heeft tegengegaan. Maar Foucault heeft een middel gevonden om glas te verzilveren zonder aan het polijstsel te schaden, en daar glas zich beter dan metaal

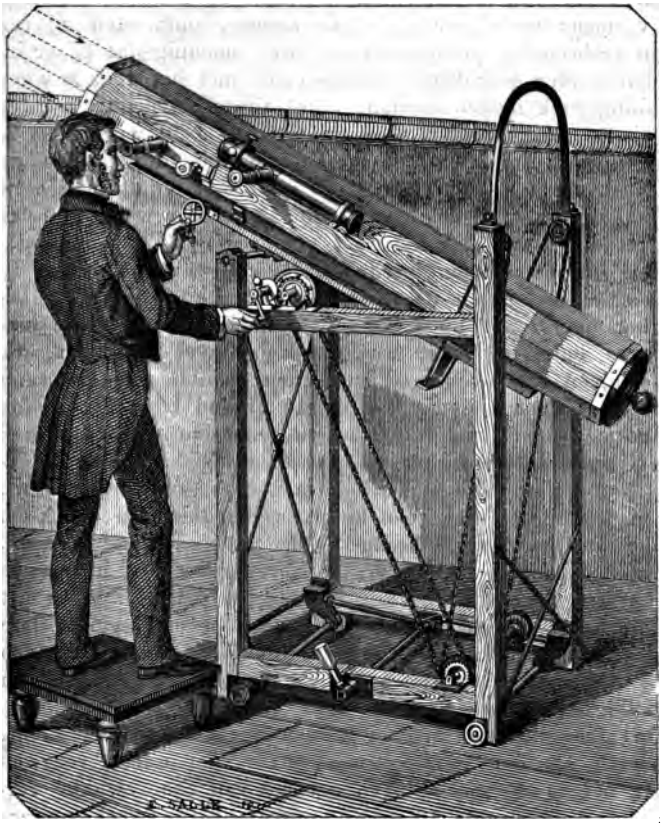


Fig. 264. Telescoop van Newton.

laat polijsten en gemakkelijker te bewerken is, worden de spiegels der telescopen van glas gemaakt, dat men op de holle zijde verzilvert. Foucault heeft een parabolischen spiegel ver-

vaardigd van 24 centim. middellijn en een brandpunts-afstand van één meter, die nagenoeg geene sporen van aberratie geeft.

De lichtstralen die van de ster komen, vallen op den spiegel, worden teruggekaatst en trachten een reëel en zeer klein beeld van de ster aan het andere eind van de buis te vormen; maar eer zij daar komen, ontmoeten zij een klein rechthoekig prisma *m n*, en wel zoodanig dat zij er intreden zonder gebroken te worden, en met het vlak *m n* een invallingshoek maken zoodanig, dat zij teruggekaatst worden in plaats van gebroken te worden. Het beeld wordt dus in *a b* gevormd, juist vóór de horizontale buis, die op zijde aan dit instrument is bevestigd: in deze buis vindt men eene reeks van vergrootende lenzen, die als oculair werken en van het beeld *a b* een zeer vergroot virtueel beeld A B vormen.

Hoe dit instrument gericht wordt, zien wij in fig. 264. In de rechterhand houdt de waarnemer een handvat, dat de beweging overbrengt op eene ketting zonder eind, welke ketting de beweging weer overbrengt op twee kettingen, die om schijven zijn heengerold en dienen om den telescoop min of meer te doen hellen. Met de linkerhand beweegt dezefde waarnemer een klein rad, dat in eene schroef zonder eind loopt, waarmede men den telescoop eene zijdelingsche beweging kan geven Eindelijk vindt men rechts van het oculair, boven het kleine rad, een knop, welke dient om een klein rondsel in beweging te brengen, dat in een getand rad grijpt, hetwelk door eene veer wordt tegengehouden: en hieraan is het beweegbaar stuk bevestigd, dat het prisma *m n* en het oculair bevat (zie fig. 264). Draait men dezen knop in deze of gene richting, dan worden het prisma en het oculair zoo nabij gebracht, dat het beeld *a b* zich op den afstand van duidelijk zien voor den waarnemer vormt.

Op zijde van de buis vindt men een kleineren telescoop, overigens als deze samengesteld, maar veel minder vergrootend; het is de *zoeker*. Ten gevolge van zijne zwakke vergrooting, van slechts 10 malen, omvat hij eene veel grootere uitgebreidheid van den hemel en is dus meer geschikt om de ster op te sporen, welke men wil waarnemen. De vergrooting van den anderen telescoop kan gaan van 50—800.

345. **Telescoop van Herschell.** Willem Herschell te Londen *eene* wijziging aan den telescoop van Newton aange-

bracht; hij geeft aan den spiegel M (zie fig. 263) eene kleine helling ten opzichte van de as der buis, zoodat het beeld *a b* zich vormt aan den rand der buis, aan de opening die tegen den spiegel overstaat. Daar neemt dan de sterrekundige, met den rug gekeerd naar de ster, die hij wil beschouwen, dit beeld met een vergrootend oculair waar; doch zijn hoofd onderschept dan eenige stralen, die anders ook op den spiegel zouden vallen.

De afmetingen van Herschell's telescoop zijn zeer groot: bij eene lengte van 12 meters heeft hij eene middellijn van $1^m,5$. Een groot stellingwerk, voorzien van katrollen en koorden, was noodig om het instrument te dragen en te richten. De vergrooting van dezen telescoop werd geschat op 6000 maal.

Lord Ross, in Ierland, heeft een telescoop doen samenstellen, waarvan de afmetingen dien van Herschell nog overtreffen. Zijn telescoop heeft $1^m,83$ diameter en $16^m,76$ lengte: de metalen spiegel alleen weegt 3809 kilogrammen en het geheele instrument ongeveer 15000. De telescoop wordt door muren van 20 meters lengte en 14 meters hoogte gedragen.

346. **Microscopen.** Wij verstaan onder *microscopen* zulke instrumenten, welke, terwijl zij zeer vergroote beelden geven, toestaan voorwerpen waar te nemen, die door hunne kleinheid aan het ongewapend oog ontsnappen. Men onderscheidt twee soorten: den *enkelvoudigen* en den *samengestelden* microscoop.

Fig. 265. Loup of enkelvoudige microscoop.

De eerstgenoemde bestaat uit een sterk convergeerende lens, die als vergrootglas gebezigd wordt, zoo als wij reeds zagen in fig. 244. Het voorwerp, dat men beschouwt is dan geplaatst tusschen de lens en haar hoofdbrandpunt, en de vergrooting is zoo veel te sterker naarmate de lens meer convergeerend is. Als de lens wat groot is wordt zij in voor-

hoorn of schildpad gevat, en is dan, onder den naam van *loup* veel in gebruik bij ouden van dagen (zie fig. 265); ook wordt zij bij de kunst van horlogemaken en graveeren ge-

Fig. 266. Samengesteld microscoop.

bruikt, werken die eene groote juistheid vereischen. Maar men verkrijgt slechts zwakke vergrootingen, en om zeer kleine *voorwerpen* te beschouwen gebruikt men den *samengestelden*

microscoop, zoo genoemd omdat hij uit meerdere lenzen is amengesteld.

In fig. 266 is een samengesteld microscoop voorgesteld, erwijl men er mede werkt; in fig. 267 zien wij den gang der ichtstralen in het toestel. In beide figuren behooren dezelfde etters tot dezelfde onderdeelen. Het voorwerp, dat men wil bezien, is tusschen twee glaasjes geplaatst, en deze rusten bij *a* op eene *voorwerp-tafel*, die door eene schroef kan op en neer bewogen worden. Boven deze vindt men eene koperen buis *O Ao*, waarin twee convergeerende lenzen geplaatst zijn: het objectief *o* beneden en het oculair O boven. Daar het voorwerp *a* dicht bij het hoofdbrandpunt van het objectief gelegen is, weet men dat deze lens daarvan een reëel, omgekeerd en reeds vergroot beeld in *b c* vormt (zie § 322, fig. 243); het oculair O is zoo gesteld, dat het beeld *b c* zich tusschen deze lens en haar hoofdbrandpunt F bevindt; hieruit volgt dus voor het oog, dat er doorheen ziet, dat het oculair als loup (zie § 323) werkt en in B C een virtueel en vergroot beeld van het eerste beeld *b c* geeft.

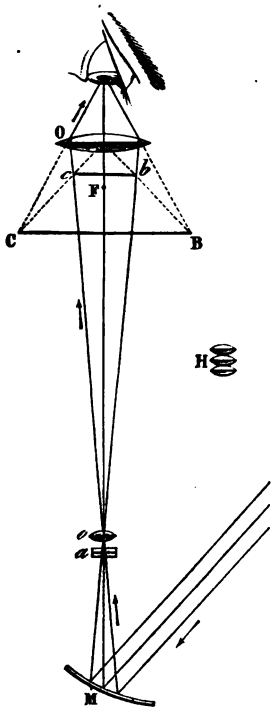


Fig. 267. Gang der lichtstralen in den samengestelden microscoop.

De vergrooting hangt voornamelijk van het objectief af. Men vermeerdert zijn vergrootend vermogen door het samen te stellen uit 2 of 3 lenzen, die men boven elkander plaatst, zooals men ziet bij H, op de rechterzijde van onze teekening (zie fig. 267). Men voegt ook aan het oculair nog eene tweede lens toe, die minder dient ter bevordering der vergrooting, als wel tot het meer juist en scherp maken der beelden, d

[illegible] aberratie [illegible] microscopen [illegible] verliest [illegible] vergrootend [illegible] in lengte [illegible] vergrooting geeft [illegible]

[illegible] vergrooting onder- [illegible] voorwerp zeer [illegible] zoo het door- [illegible] hollen spiegel M, [illegible] samenbrengt, [illegible] onbeschijnend, [illegible] vergroeiende [illegible] voorwerp [illegible]

[illegible] De uit- [illegible] dan tot het [illegible] verwonderen [illegible] drijvend water, op [illegible] voorwerpen, die [illegible] De ouden [illegible] vermogen der bol- [illegible] jaartelling [illegible] geraden [illegible] men in verzame- [illegible] graveerkunst der [illegible] dat dit zonder [illegible] Onder die [illegible] vermelding diegene [illegible] gezag van Cicero [illegible] Homerus op een vlies [illegible] worden. Verder [illegible] kleine dieren uit ivoor ver- [illegible] door anderen niet [illegible] der brillen moet [illegible] Sommigen schrijven haar [illegible] Of hij echter zelf glazen [illegible] zoo als die der eigen- [illegible] Zeker is het echter, dat, zoo

et vóór, dan toch kort na den dood van Baco de brillen in ıropa in gebruik zijn gekomen. In de XVIe eeuw vinden wij Middelburg twee brillenslijpers met roem vermeld, Hans ınssen, met zijnen zoon Zacharias en Lippershey, en ten de van Anthony van Leeuwenhoeck (1632—1725) waren · drie te Leiden.

Men kan als uitvinders van den microscoop Hans en Zachaas Janssen opgeven omstreeks het jaar 1600. Vele wijzi-ıngen en verbeteringen heeft dit instrument achtereenvolgens ıdergaan. Eerst voor een veertigtal jaren hebben Amici . Italie en Ch. Chevalier in Frankrijk het op dien trap ın volkomenheid gebracht, op welken het thans staat. Sedert . het eene bron van de belangrijkste ontdekkingen in het lanten- en dierenrijk geworden. De plantkundigen zijn er de :hoonste ontdekkingen aan verschuldigd van den bouw van et celweefsel, van den loop der sappen, van de samenstel-.ng der bladeren. De entomologen (insectkundigen) heeft de ıicroscoop geleid tot de ontdekking van eene menigte van ıiersoorten, die ons anders wegens hunne verbazende kleinheid eheel en al onbekend zouden gebleven zijn. Zoo neemt men n azijn en zuur tarwedeeg duizenden van kleine aaltjes waar; n stilstaande wateren myriaden van diertjes, merkwaardig loor hunne vreemde vormen en schoone kleuren; in den schimnel herkent men kleine paddestoelen van de prachtigste kleu-'en. In een woord, elk voorwerp dat men door den micros-:oop beziet is voor ons eene reden van verwondering en be-wondering: bijv. een haar, een zijden draad, een oog of vleugel eener vlieg, de angel van eene bij, de klauw van :ene spin, het haar van katten of muizen, het waas der vruchten, de schubjes der kapelvleugels of der visschen, de zaden, het web eener spin enz. Overal erkent men de oneindige volmaaktheid van de werken der natuur.

Wij moeten hier nog bijvoegen, dat de microscoop van een groot nut is in de nijverheid tot het herkennen van vervalschingen van meelsoorten enz. en ook van weefsels, waar men de aanwezigheid van wol, zijde, linnen en katoen kan aanwijzen.

HOOFDSTUK VIII.

OPTISCHE INSTRUMENTEN.

Vervolg.

348. **Tooverlantaarn.** Iedereen kent de *tooverlantaarn*, een van de eerste physische instrumenten, die wij als kinderen in handen gehad hebben. Zij werd uitgevonden door Athanasius Kircher, die haar ten minste het eerst in 1646 beschreven heeft, ofschoon anderen willen, dat Roger Baco

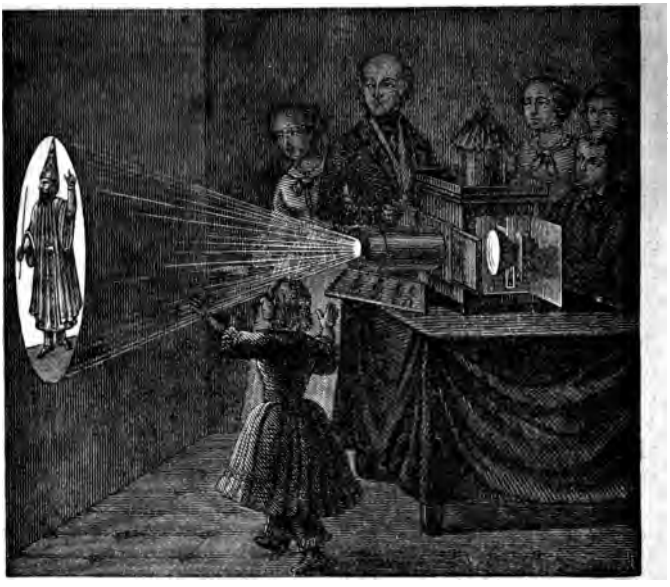


Fig. 268 Tooverlantaarn.

haar reeds in 1252 zoude uitgevonden hebben. De tooverlantaarn verdient daarom eene opzettelijke vermelding, omdat zij tot de uitvinding van den zon-microscoop en zoo tot die van den Photo-electrischen microscoop geleid heeft. Zij dient om op een wit scherm in eene donkere kamer vergroote

beelden te verkrijgen van de kleine op glas geschilderde voorwerpen en personen (zie fig. 268), en bestaat uit een blikken trommel in fig. 209 in doorsnede voorgesteld. In dezen trommel vindt men een lamp en daarachter een hollen

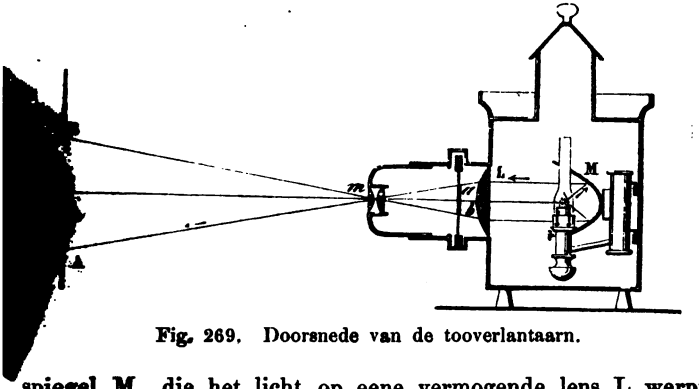


Fig. 269. Doorsnede van de tooverlantaarn.

spiegel M, die het licht op eene vermogende lens L werpt. Deze doet de lichtstralen convergeerend vallen op eene glazen plaat *a b*, waarop de beeldjes, die men vergroot wil voorstellen, zijn geschilderd. Eindelijk heeft men een samenstel (een systeem) van twee lenzen, *m*, die als eene enkele sterk vergrootende werken, zoo geplaatst, dat de glazen plaat *a b* zeer dicht bij het hoofdbrandpunt gelegen is. Op dezen afstand werkt het lenzenstelsel als in de proef, die wij reeds in fig. 243, voorstelden, dat wil zeggen, het geeft in A B een vergroot en omgekeerd beeld van de bij *a b* geschilderde glazen figuurtjes. Men keert het beeld om, of liever, maakt het recht opstaand, door de geschilderde glazen plaat ten onderst boven in de tooverlantaarn te houden. Daar het licht betrekkelijk zwak is, laat de tooverlantaarn slechts eene 15- ten hoogste 20malige vergrooting toe.

349. **Phantasmagorie.** De *phantasmagorie* is eene wijziging van de tooverlantaarn, en van binnen eveneens samengesteld. Het eenige onderscheid tusschen deze beide toestellen bestaat hierin, dat bij de tooverlantaarn het op een scherm geworpen beeld steeds dezelfde grootte behoudt, terwijl men bij de phantasmagorie deze grootte naar willekeur kan doen afwisselen. Om te begrijpen hoe men dit verkrijgt, zullen wij

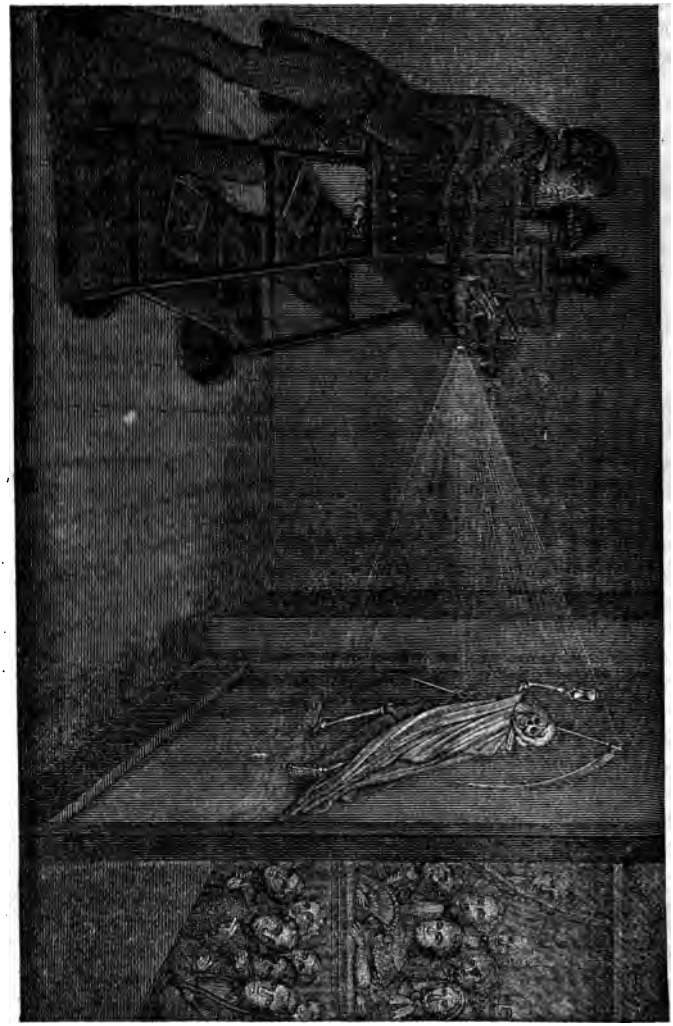


Fig. 270. Phantasmagorie.

fig. 269 volgen, die ons de plaatsing der lenzen in de tooverlantaarn te zien geeft. Terwijl hier de lenzen *m*, die het beeld op het scherm moeten werpen, altijd even ver van het geschilderd glas *ab* afstaan, wordt het beeld AB steeds op denzelfden afstand gevormd en behoudt het dan dezelfde grootte. Indien men zich nu voorstelt, dat de lenzen *m* het glas *ab* naderen, dan vloeit uit de eigenschappen der lenzen voort, dat het beeld zich op verderen afstand vormt en grooter is. Wil men dit verkrijgen, namelijk een vergroot beeld op verderen afstand, dan zijn hiertoe twee bewegingen noodig: vooreerst moet men het lenzenstelsel *m* tot het geschilderd glas doen naderen om het beeld te vergrooten en ten tweede moet men het geheele toestel doen achterwaarts gaan, opdat het beeld, zich verwijderende, zich op hetzelfde scherm, dat het eerst opving zou kunnen vormen.

Om dit te verkrijgen staat de trommel, die de lenzen en de lamp bevat, op een stel met rolletjes, die met laken bekleed zijn om zonder geluid op den vloer te kunnen rollen. In fig. 270 zien wij zulk eene phantasmagorie; alleen op de teekening is zij eene dubbele, dat is samengesteld uit twee zoodanige toestellen. Wij zullen spoedig (zie 351) zien waartoe deze dubbele inrichting dient: eerst beschouwen wij slechts een enkel toestel. Aan het voorste gedeelte van den trommel zien wij eene kegelvormige koperen buis, in deze buis is de lens, die het beeld op het scherm moet werpen, en zij is vast, maar zij kan naar verlangen van den proefnemer door een knopje voor- of achteruit bewogen worden.

Verder is er voor het toestel een groot wit doek gespannen, waarachter de aanschouwers gezeten zijn. Alles is in diepe duisternis gehuld; hij, die de phantasmagorie vertoont, draagt zorg de lens eerst van de glazen plaat, waarop de figuren geschilderd zijn, verwijderd te houden. Daardoor worden op het scherm in het begin slechts zeer kleine beelden van deze figuren gevormd. Nu brengt de proefnemer met de eene hand de lens dichter bij het geschilderde glas, terwijl hij met de andere hand de phantasmagorie naar zich toetrekt en van het scherm dus verwijdert: het beeld op het scherm groeit dan steeds aan en krijgt eindelijk aanzienlijke afmetingen. Maar de aanschouwers, die door de duisternis verhinderd worden om te zien, of de plaats zelve van het

beeld al dan niet verandert, en die het beeld zeer goed door het doek heen zien, laten zich door een gezichtsbedrog misleiden, daar het hun toeschijnt dat het beeld nadert als de afmetingen daarvan toenemen: zoodat hunne bedrogen verbeelding dit aangroeijen in grootte aanziet voor eene voortgaande beweging van een spook, dat, eerst verwijderd, nu naar hen toekomt. Sommige schrijvers meenen dat men reeds in hooge oudheid gebruik gemaakt heeft van phantasmagoriën, en dat men met deze toestellen hen verschrikt maakte die ingewijd werden in de mysteriën van Isis en Ceres, en dat men op deze wijze de goden der benedenwereld of de dooden, die men aanriep, deed verschijnen. Maar niets is er, dat het vermoeden wettigt, dat lenzen toen reeds zoo zeer bekend waren: echter met holle spiegels zoude men verschijnselen kunnen te weeg brengen, die overeenkomst hebben met die van de phantasmagorie.

350. **Polyorama en dissolving views.** Het *polyorama* en de *dissolving views* zijn eene toepassing van de phantasmagorie. Deze is dan dubbel, zoo als fig. 270 doet zien, en de beide lenzenstelsels zijn dan convergeerend naar hetzelfde punt van het doek, dat het beeld opvangt. Nu heeft men twee voorstellingen op glas geschilderd, die hetzelfde gezicht voorstellen maar in verschillende omstandigheden: bijv. het eene is eene voorstelling van den Vesuvius, bij dag gezien, kalm en slechts eene kleine kolom rook vertoonende, terwijl het andere dienzelfden vulcaan voorstelt bij nacht, vlammen brakende en stroomen van gloeijende lava Heeft men nu deze glazen in beide de phantasmagoriën geplaatst en de lenzen zoo gesteld, dat zij juist op hetzelfde punt van het scherm de vergrootbeelden werpen, dan opent men eerst het diaphragma van de phantasmagorie, waarin men het gezicht bij dag heeft, het andere laat men gesloten: vervolgens, als het beeld eenigen tijd aan de aanschouwers getoond is, sluit men, door de inrichting *a*, langzamerhand het diaphragma van de werkende phantasmagorie, terwijl men dat van de andere zachtkens aan opent. Hieruit volgt dat het beeld, hetwelk het daggezicht voorstelt, door deze afwisselende verlichting verdwijnt, terwijl het onder dezelfde lichtschakering opgevolgd wordt door het nachtgezicht, dat op de andere plaat is voorgesteld. Zoo volgt i *maanlicht* de ondergaande zon op, een storm een kalme

zee, en sneeuwgezicht een bloeijend landschap en zoo vervolgens met ontzachlijk veel afwisseling. Zoodanig is het *polyorama*, aldus genoemd naar twee Grieksche woorden, die *veel* en *zien* beteekenen.

De *dissolving views* vereischen ook het gebruik van een dubbele phantasmagorie en verschillen van het polyorama alleen hierin, dat de twee geschilderde glazen zaken voorstellen, die geheel en al tegengesteld zijn: zoo ziet men bij voorbeeld een woud plotseling overgaan in een prachtig paleis, eene woeste vlakte in eene bevolkte stad: en dit door nagenoeg onmerkbare overgangen van tinten; een der beelden wordt langzamerhand zwakker verlicht; terwijl een ander dit opvolgt en zich er eerst mede samensmelt: van hier die vreemde en onvoorziene uitkomsten, even aantrekkelijk door hare verscheidenheid als door de geheimzinige oorzaak, die haar voortbrengt.

351. **De photo-electrische microscoop.** Wij zagen reeds (zie 348) dat de tooverlantaarn tot de ontdekking leidde van den zon-microscoop en deze weer tot die van den photo-electrischen microscoop. De zon-microscoop bestaat uit een systeem van glazen, die dienen om het voorwerp te verlichten, en uit een systeem van lenzen, die een beeld van het voorwerp vormen. De stralen der zon, die men door een spiegel evenwijdig aan de as van den microscoop doet invallen, worden door eene lens convergeerend gemaakt en door eene andere lens in een brandpunt vereenigd. Dicht bij dit brandpunt bevindt zich het voorwerp. Van dit hierdoor verlichte voorwerp wordt nu door eene lens (of een systeem van lenzen) een vergroot beeld op een scherm opgevangen. Tooverlantaarn en zon-microscoop berusten dus op hetzelfde beginsel. Kircher was reeds op het denkbeeld gekomen, het licht der lamp door zonlicht te vervangen, omdat men dan van een sterker licht gebruik makende, ook eene sterkere vergrooting zoude kunnen verkrijgen. Zahn wees dan ook in 1687 aan, dat men de tooverlantaarn als microscoop kon bezigen als men de lamp verving door zonlicht: om dit gemakkelijker op te vangen en te richten, kon men een vlakken spiegel daartoe aanwenden.

Van toen af kan men rekenen, dat de zon-microscoop in zijne hoofdbestanddeelen werkelijk bestond. Door vele geleerden, mechanici en optici is dit werktuig gestadig verbeterd en tot eene groote volkomenheid gebracht. Doch het licht der

zon, hoe voortreffelijk ook, kan maar op zekeren tijd, op eene bepaalde plaats en dan zelfs niet altijd aangewend worden; men trachtte dus reeds vroeg het zonlicht door kunstlicht te vervangen. Intusschen kende men in vroegeren tijd geenerlei kunstlicht, dat eenige vergelijking met het zonlicht toeliet, zoodat zulke lampmicroscopen uit den aard der zaak slechts bij geringere vergrootingen bruikbaar waren en steeds op grooten afstand bleven van den zon-microscoop. Eerst voor onzen leeftijd was het bewaard twee lichtbronnen te vormen, die ofschoon de zon geenszins in lichtsterkte evenarende, toch daartoe veel meer naderen en als ieder kunstlicht ten allen tijde den gebruiker ten dienste staan.

Deze beide lichtbronnen zijn: 1°. *de hydro-oxygeen-gasvlam op kalk* en 2°. de *electrische stroom* tusschen twee koolspitsen, die de polen eener electrische batterij vormen.

Birkbeck gebruikte in 1824 het eerst het hydro-oxygeen licht in eene tooverlantaarn. De luit. Drummond wendde het iets later aan tot het geven van seinen en tot de verlichting der vuurtorens; en naar hem werd het het *Drummondsche kalklicht* genoemd. Cooper was de eerste, die in 1832 het gebruikte in een beeldmicroscoop.

Ten tweede verlicht men de voorwerpen van den beeldmicroscoop door het electrische licht, dat ontstaat tusschen twee stukken kool, als pooleinden gebruikt eener galvanische batterij. Door de proeven van Davy kende men reeds sedert vele jaren dit verblindende licht, dat onder alle soorten van kunstlicht in intensiteit het meest tot het zonlicht nadert. Doch het waren Donné en Léon Foucault, die het eerst besloten deze lichtbron bij den beeldmicroscoop aan te wenden. Zij wendden zich tot Chevalier, en deze bracht dien ten gevolge een werktuig tot stand, bekend onder den naam van *Photo-electrisch microscoop*, dat het eerst vertoond en gebruikt werd in eene zitting van de Sociéte d'encouragement 12 Maart 1845. De regeling van den afstand der koolspitsen was echter eene groote moeijelijkheid, daar deze met de hand geschieden moest. Doch 15 Jan. 1849 gaf Léon Foucault aan de Fransche Academie bericht van een toestel, waarin de einden der koolspitsen door eene vernuftige vereeniging van veeren, raderwerk en electromagneet steeds op gelijken afstand gehouden werden. *In eene volgende* zitting brachten Regnault en Dumas hun

verslag uit over dit toestel, waarin zij hunne hooge ingenomenheid er mede betuigden.

In fig. 271 zien wij een photo-electrischen microscoop voorgesteld. Onder aan het toestel staat eene galvanische batterij, welke wij later zullen beschrijven. De stroom begeeft zich door twee koperdraden naar twee stukjes kool, die zich

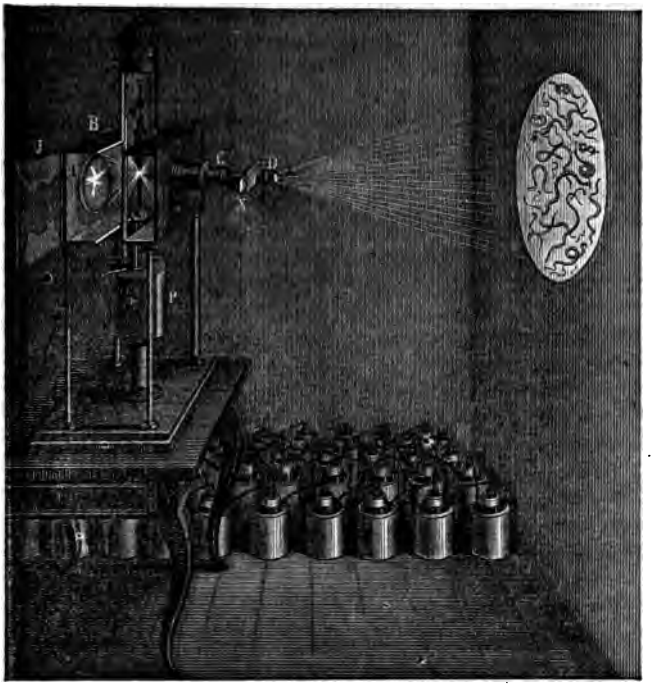


Fig. 271. Photo-electrische microscoop.

in een geelkoperen doos B bevinden. Deze stukjes kool worden sterk verhit en weldra wit gloeijend en verspreiden een zoo sterk licht, dat het oog het niet kan verdragen. Een reflector I weerkaatst de lichtstralen in de richting van de buis C, waar zij twee convergeerende lenzen ontmoeten, die haar brandpunt hebben dicht bij het zeer kleine voorwerp, dat men wil ver-

grooten, en dat zich tusschen twee glaasjes X bevindt. Vandaar gaan de lichtstralen door eene buis D en ontmoeten daar een systeem van convergeerende lenzen, die dezelfde werking doen als de lenzen *m* in de tooverlantaarn (zie fig. 269): zij werpen namelijk in de verte op een wit scherm een bijzonder vergroot beeld van een klein voorwerp, dat tusschen de glaasjes bevat is. Door de beweegbare buis D kan men de vergrooting regelen.

In de bijgaande teekening ziet men op het scherm een beeld geworpen van de infusoriën (afgietsel-diertjes), die men in gistende stijfsel vindt. Men neemt er eene kleine hoeveelheid van, verdunt die met water, en brengt daarvan eenige droppels in een klein glazen doosje met evenwijdige wanden, en plaatst dit bij X. Men ziet dan op het scherm eene groote menigte van deze diertjes, die tot 30 en 40 centimeters lang zijn, zij bewegen zich met groote snelheid door elkander en sterven plotseling, gedood door de warmte, die zich te gelijker tijd met het licht vereenigt in het brandpunt der verlichtende lenzen.

Onder de schoonste proeven, die men met den photo-electrischen microscoop nemen kan, behooren voorzeker die van den bloedsomloop en van de kristallisatie. Om den bloedsomloop aan te toonen maakt men gebruik van eenen zeer jongen kikvorsch, waarvan de bovenste en onderste ledematen nog niet ontwikkeld zijn. Tusschen twee glazen plaatjes brengt men zijnen staart en ziet dan op het scherm als ware het eene gekleurde geographische kaart, waarop al de rivieren een zeer sterken stroom hebben: het is het bloed dat met groote snelheid door de slag-aderen en aderen loopt.

Wil men de kristallisatie aantoonen, dan lost men eenig zout, bijv. een ammoniakzout, in water op en spreidt een droppel daarvan op een glazen plaatje uit, dat men daarna weer in het toestel plaatst De warmte doet het water verdampen en de heerlijkste regelmatige figuren ontstaan door de aaneenvoeging van de kleine kristallijne moleculen, in allerlei vormen. In het hier genoemde voorbeeld ziet men de prachtigste vertakkingen aangroeijen in den vorm van varen-
n.

:. **Donkere kamer.** Een napelsch natuurkundige, Porta, *het* eerst ongeveer in 1558 waar, dat, zoo men eene

eine opening in het luik eener *donkere kamer* maakt, dat il zeggen eener kamer die geheel van licht beroofd is, al : buiten gelegene voorwerpen, waarvan de stralen de ope- ng kunnen bereiken, zich afteekenen op een scherm dat er ›or gehouden wordt, en wel met afmetingen zooveel te klei- :r, als het scherm dichter bij de opening is. Dezelfde na- urkundige ontdekte weldra, dat de opening van de donkere ımer elke grootte kan hebben, als men er eene convergeerende ns in plaatst, die er goed in past en de stralen op het scherm ›et samenloopen. De beelden winnen dan veel in scherpte ı helderheid: maar in beide gevallen zijn zij omgekeerd.

Wij zien in fig. 272 hoe de beelden in de donkere kamer mgekeerd gevormd worden. Deze omkeering vloeit voort uit

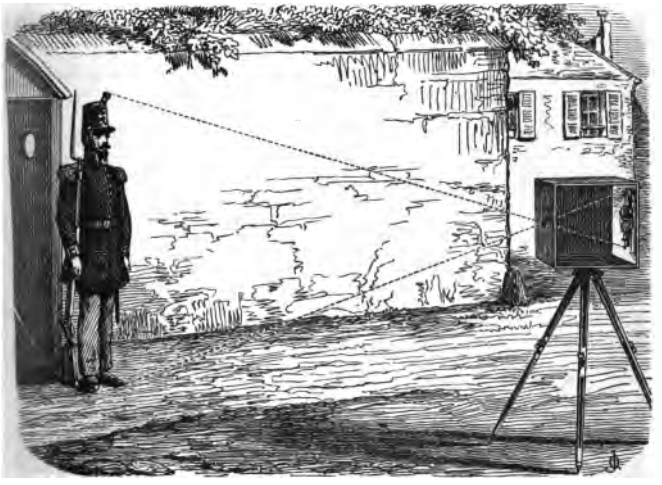


Fig. 272. Omgekeerd beeld in de donkere kamer.

de kruising van de stralen, in de kleine opening. Het gevolg hiervan is, dat de stralen, die van de hoogste gedeelten van het voorwerp uitgaan, terwijl zij zich in eene rechte lijn voortplanten, het scherm op het laagste punt ontmoeten; juist het omgekeerde heeft plaats voor de stralen die van de lagere gedeelten van het voorwerp uitgaan. Wat de kleuring van het beeld aangaat, ook deze laat zich ligt verklare·

teruggekaatste stralen hebben dezelfde kleur als het terugkaatsende ligchaam. Wij zagen immers: een rood ligchaam kaatst de roode stralen terug, een geel ligchaam de gele enz., zoodat ieder gedeelte van het beeld gevormd wordt door het samentreffen van stralen van dezelfde kleur als die van het overeenkomstig gedeelte van het voorwerp, dat het voorstelt.

De beelden der donkere kamer bezitten nog eene merkwaardige eigenschap: zij zijn namelijk onafhankelijk van den vorm der opening door welke de lichtstralen trekken, *indien deze slechts zeer klein is;* dat wil zeggen, de opening moge rond, vierkant of driehoekig zijn, altijd is het beeld, dat op het scherm gevormd wordt, een getrouw afbeeldsel van de voorwerpen die buiten zijn en niet van de opening, die zich

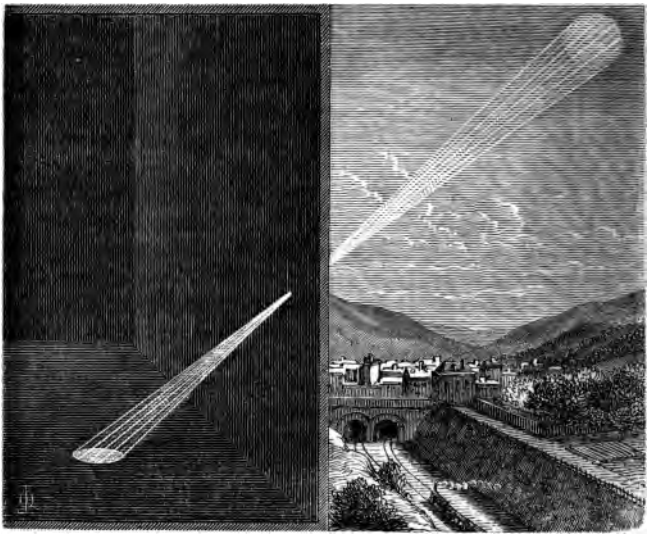


Fig. 273. De vorm der beelden hangt niet af van dien der opening.

in het luik bevindt. Om ons van dit verschijnsel rekenschap te geven, moeten wij eerst een bundel zonlicht beschouwen, die door eene kleine opening, van welken vorm ook (zie fig. 273), in eene donkere kamer doordringt. Ten

›zichte van de grootte der zon, kan men deze opening als ›n punt aanzien; het gevolg hiervan is, dat het geheel der ralen, die er doorgaan, een zeer grooten lichtkegel voorstelt, aarvan de opening in de donkere kamer de top en de zon › basis is. Maar deze stralen, die zich in rechte lijn verlen- ›n binnen de donkere kamer, doen een tweeden kegel ont- aan gelijkvormig aan den eerstgenoemden, maar veel kleiner. alt nu deze kegel op een scherm, loodrecht op de rechte, e den top met het middelpunt der zon verbindt, dan vormt ch op het scherm een cirkelvormig beeld als de zon. Helt ›t scherm op deze rechte, zooals fig. 273 voorstelt, dan is het ›eld langwerpig, maar nooit heeft het den vorm van de opening, ›o ten minste het scherm er niet te dicht bij wordt gebracht. Op dezelfde wijze moeten wij de licht-cirkels verklaren, .e wij op den grond zien onder eene laan van groote boomen,

Fig. 274. Beelden der zon door het loof der boomen.

ie door de zon verlicht worden. Wat ook de vorm zij van e tusschenruimten door welke het licht heengaat tusschen e bladeren, het is altijd het cirkelvormig beeld der zon ich op den grond afteekent (zie fig. 274).

353. **Het weder recht keeren der beelden in de donkere kamer.** Wil men in de donkere kamer een gedenkteeken, een gebouw, een landschap voortbrengen, dan is het noodig het beeld weer recht te keeren. Ten dien einde richt men het toestel in, gelijk in fig. 275 wordt voorgesteld. Een weinig boven de opening, waardoor de lichtstralen binnentreden, brengt men een vlakken spiegel, die zoo schuins geplaatst is, dat hij de stra-

Fig. 275. Vorming der beelden in de donkere kamer.

len terugkaatst in eene buis, aan wier einde zich eene convergeerende lens bevindt. Onder deze lens, nagenoeg op den brandpuntsafstand, vindt men een wit scherm, waarop de *voorwerpen* van buiten zich afteekenen. De zoo verkregen *beelden*, nu recht gekeerd ten gevolge van de terugkaatsing

op den spiegel, zijn niet alleen zeer schoon door hunne juistheid van teekening en kleur, maar zij geven, wat geene andere teekening doet, ook de beweging terug. Ja, zoo de donkere kamer zich bevindt dicht bij eene wandeling, een plein of markt, dan ziet men de beelden der voorbijgangers over het scherm gaan, en dat met eene juistheid, dat men hen kan herkennen.

Zoo kan de donkere kamer vermaak geven; maar van nut is zij in het teekenen, want zelfs iemand, die deze kunst niet verstaat, kan met een potlood de omtrekken der beelden volgen en ze op het scherm zetten. Wil men de donkere kamer tot dit doel gebruiken, dan geeft men er den vorm aan, dien wij nu zullen beschrijven.

354. Draagbare donkere kamer. Wanneer men schoone streken door de donkere kamer wil afteekenen, dan moet zij

Fig. 276. Draagbare donkere kamer.

draagbaar zijn en dus ligt en van kleinen omvang. Verschillende soorten van donkere kamers, die aan deze vereischten voldoen, worden er vervaardigd. De meest eenvoudige en meest bruikbare is die van Charles Chevalier, voorgesteld in fig. 276. *Zij bestaat uit* drie houten pooten, die boven aan

eene schijf ook van hout dragen: van deze schijf hangt een donker gordijn af en vormt zoo eene tent, waaronder zich de teekenaar plaatst. Midden in de tent bevindt zich een klein tafeltje, ook op drie pooten, waarop zich het beeld vormt, dat men na wil trekken. Dit tafeltje kan van de pooten afgenomen worden en deze hebben in het midden een scharnier, zoodat alles tot een klein pak kan opgevouwen worden. Eindelijk vindt men boven in dit toestel eene koperen buis, die op zijde open is en waarin zich een glazen prisma bevindt, dat eveneens werkt als de hellende spiegel en de lens, hierboven beschreven (zie fig. 275). Tot dat einde is de voorvlakte van het prisma convex, zoo als fig. 277 aantoont. Binnentredende worden de stralen convergeerend, daarna ondergaan zij eene totale reflexie op het vlak *m* (zie § 311) en worden teruggezonden naar het derde vlak en treden hier even convergeerend uit, alsof zij eene lens waren doorgegaan. Dit heeft ten gevolge, dat zij op het tafeltje in *a b* een beeld vormen van het voorwerp A B, vanwaar zij zijn uitgegaan. Dit is het beeld, waarvan de teekenaar de omtrekken op een vel papier natrekt (zie fig. 277).

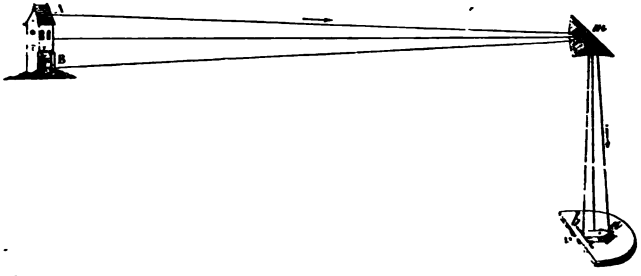


Fig. 277. Gang der lichtstralen in de prismatische donkere kamer.

DAGUERREOTYPE.

355. **Geschiedenis van de uitvinding der daguerreotype.** De *daguerreotype* is eene kleine donkere kamer, die dient om de beelden op metalen platen blijvend of bestendig te maken, door middel van de chemische werkingen, welke het licht op sommige uitoefent. Hier is het dus de zon die teekent, van- ook de naam van *heliographie* (teekening door de

ı), welken men eerst aan deze kunst gaf. Het woord *pho-raphie* (teekening door het licht) zoude nog beter geweest ı; maar deze benaming wordt bij uitsluiting aan eene wijze ı de beelden op papier blijvend te maken toegepast. Maar ɜ dit ook zij, het woord *daguerreotype* heeft den voorrang 'kregen, naar den naam van den uitvinder of liever van ı der uitvinders, want twee namen zijn bij de geschiedenis ı deze ontdekking nauw verbonden: die van Nicéphore ɜpce en van Daguerre.

[n het *Musée des Familles* van Junij en Julij 1853 vindt n twee stukkken van Francis Wey. Hij beschrijft daar met ›ote onpartijdigheid de geschiedenis der daguerreotype en ldt hoe Niepce te Châtillon-Sur-Saône, en Daguerre te rijs, ieder op zich zelf de beelden der donkere kamer zoch-ı blijvend te maken, toen Charles Chevalier, sedert verschei-ıe jaren hun beider vertrouweling, aan Daguerre vertelde, t een liefhebber, die op het land woonde, zich met dezelfde lerzoekingen bezig hield. Deze mededeeling verontrustte Da-erre, hij schreef aan Niepce, dat ook hij zelf sedert lan-ı tijd het onmogelijke zocht. Niepce antwoordde met wan-ıuwen; echter sedert toen ontstond er tusschen beide eene efwisseling, uit welke blijkt, dat in het begin van 1827 ıguerre zelf nog niets gevonden had, terwijl op dat tijdstip epce er toe gekomen was op goed bereide platen eenige ge-ıhten naar de natuur blijvend te maken; hij had daarvoor ıter een langen tijd noodig, tien of twaalf uren. Eindelijk 1829 verbonden de twee uitvinders zich om samen hunne nst uit te oefenen. Maar Niepce overleed vier jaren daarna, m en onbekend, zijn werk onvoltooid achterlatende.

Daguerre, nu eenig bezitter en alleen bekend met de wijze n werken van zijn deelgenoot, zette zijne onderzoekingen heel geheim nog gedurende vijf jaren voort. Hij vreesde, t men hem voor zou komen. En deze vrees was niet geheel ı onrechte, gelijk uit een verhaal blijkt, dat Francis Wey ɜdedeelt. Omstreeks den tijd, waarvan wij spreken, vertoonde ɜh namelijk in den winkel van Chevalier een onbekende van n arm en ziekelijk voorkomen; daar vertelde hij, na eenigen d over een voorwerp, dat hij voor zijne onderzoekingen noo-g had, gedongen te hebben, dat hij druk bezig was de ·elden van de donkere kamer blijvend te maken en dat F

wel slagen zou en zoo zaken voortbrengen, die de aandacht zouden verdienen, indien hij slechts betere werktuigen had. Om zijne woorden te ondersteunen, trok hij uit zijn zak een duidelijk beeld op papier, waarop men daken en schoorsteenen zag en in de verte den dom der invaliden. Hij toonde ook een klein fleschje, dat een bruin vocht bevatte, waarmede hij, naar zijn zeggen, werkte. Deze onbekende kwam niet meer terug, zonder twijfel was hij in armoede gestorven, zijn naam zelfs niet achterlatende om op de lijst der uitvinders ingeschreven te worden. Hij had zijn klein fleschje achtergelaten: eenige maanden daarna gaf Chevalier dit aan Daguerre, die de proef met de vloeistof nam, maar niet slaagde. Ter zelfder tijd was ook Talbot, in Engeland, zoekende en vond hij het blijvend maken der beelden, zoo als wij later zullen zien. De groote ontdekking scheen dus van verschillende kanten bekend te zullen worden. In 1839 verkondigde Daguerre, dat hij er toe gekomen was om in weinige minuten de beelden der donkere kamer op metalen platen blijvend te maken. In hetzelfde jaar maakte hij zijne wijze van werken bekend, tegen eene lijfrente, waarvan hij 4000 francs voor zich trok en even zoo veel voor den zoon van Niepce: het deel van eerstgenoemden werd gebracht tot 6000 francs, omdat hij te gelijk zijne wijze van schilderen voor het diorama deed kennen. Het was wel weinig voor eene ontdekking, die Frankrijk eer aandeed en die later de fabrikanten van Parijs millioenen heeft doen verdienen!

356. **Wijze van werken van Daguerre.** De wijze van werken van Daguerre bestaat in het opvangen der beelden van de donkere kamer op verzilverde en gepolijste koperen platen, die eerst bedekt zijn met eene *gevoelige laag*, dat wil zeggen met eene stof waarop het licht kan werken. Deze stof is het *iodium-zilver*, eene verbinding van *zilver*, met *iodium;* het laatste is een enkelvoudig ligchaam, dat uit zeeplanten getrokken wordt en dat, hoewel vast zijnde, toch op de gewone temperatuur steeds dampen verspreidt. Stelt men de verzilverde plaat ongeveer twee minuten aan deze dampen bloot, dan verbindt zich het iodium met het zilver en vormt eene zeer dunne laag, welke verbinding in de scheikunde onder den naam van *iodium-zilver* bekend is. Nu is de plaat *gevoelig* en kan in eene donkere kamer in het brandpunt eener lens geplaatst, door welke

de lichtstralen intreden, hunne geheimzinnige werking ondervinden. Beziet men daarna de plaat, dan neemt men nog geen spoor van het beeld waar: om dit zichtbaar te maken moet men de plaat nog gedurende eenige minuten aan kwikdampen blootstellen. Deze kwikdampen zetten zich alleen neer op de plaatsen, die verlicht zijn geweest, en vormen daar een zilver-amalgama, dat de verlichte deelen van de proef aantoont, terwijl de andere deelen zwart blijven.

Dit was de wijze van werken van Daguerre: maar zij was nog onvolmaakt; de platen, die voorbereid waren, zooals wij hierboven meldden, moesten tien of twaalf minuten aan het zonlicht blootgesteld worden, en dit tijdsverloop maakte zijne wijze geheel en al ongeschikt tot het maken van portretten: maar daarenboven de beelden kleefden niet vast op de platen, de geringste wrijving vernietigde ze geheel en al; en eindelijk de platen *spiegelden* op eene alleronaangenaamste wijze. Al deze fouten zijn verbeterd door den heliograaph Fizeau. Deze vond eerst dat het *bromium*, eene vloeistof die zeer veel overeenkomst heeft met het iodium, de gevoeligheid der platen aanmerkelijk verhoogde. En inderdaad, wanneer zij achtereenvolgens aan iodium- en bromium-dampen zijn blootgesteld, verkrijgt men in de zon nagenoeg oogenblikkelijk de verlangde werking en in de schaduw in den tijd van 6 tot 30 seconden. Dit was reeds eene groote verbetering: maar Fizeau slaagde er ook in, de beelden beter blijvend en minder spiegelend te maken door op de plaat eene oplossing van chloorgoud en onderzwaveligzure soda te gieten en deze zacht te verwarmen. Hierdoor wordt het zilver opgelost, het goud wordt verbonden met het kwik en met het zilver van de plaat, en het amalgama van kwik en zilver, waardoor het wit van het beeld wordt voortgebracht, wint nu in vastheid en helderheid, waaruit eene aanmerkelijke vermeerdering van intensiteit in de lichte partijen der beeldtenis voortvloeit.

Het toestel der daguerreotype zien wij in fig. 278 voorgesteld. Het is eene rechthoekige houten doos, die als donkere kamer werkt. Aan den voorkant zien wij eene koperen buis A, waarin zich een convergeerend objectief bevindt. In den tegenovergestelden kant B, dien men uit kan schuiven, zoodat men hem dichter bij het objectief of verder daarvan af kan brengen, is een mat glas E, waarop zich het omgekeerde beeld vormt.

van den persoon, waarvan men een portret maken wil. Men begint de schuif zoover uit te trekken, dat men een zuiver beeld op het glas verkrijgt: en men maakt dit vervolgens zoo scherp mogelijk, door het objectief voor- of achterwaarts te bewegen door een knop, een klein tandrad en eene getande staaf, welke

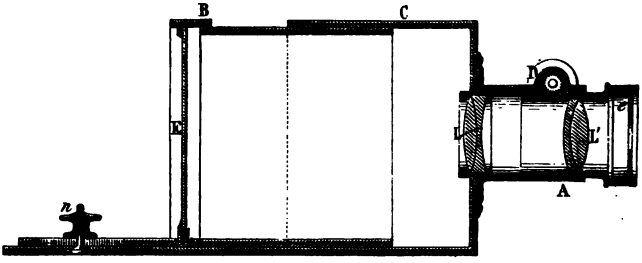


Fig. 278.

knop met de hand bewogen wordt. Nu neemt men de glazen plaat, die in sponningen glijdt, weg en stelt daarvoor de verzilverde plaat, nadat zij aan de iodium- en bromiumdampen is blootgesteld geweest, in de plaats. Heeft deze de werking van het licht ondergaan, dan wordt zij boven de kwikdampen gehouden. Daarna giet men er de oplossing van chloorgoud en onder-zwaveligzure soda op, welke het beeld moet *blijvend* maken en de lichte en donkere partijen moet doen uitkomen.

357. **Photographie op papier.** Men noemt tegenwoordig *photographie* (teekening door het licht) de kunst om beelden van Daguerre op papier te verkrijgen. Sedert 1834 was Talbot in Engeland er in geslaagd, om de beelden der donkere kamer op papier blijvend te maken; maar hij maakte zijne wijze van werken eerst bekend na de verschijning der daguerreotype. Onvolmaakt of slecht toegepast raakte deze ontdekking in vergetelheid tot in 1847, toen Blancard-Evrard, een lakenfabrikant te Rijssel, over de verbeterende wijze van Talbot een werkje uitgaf met vele proeven op papier, die zeer merkwaardig waren en eindelijk de photographie in de mode brachten. Daarna zijn de voornaamste verbeteringen aangebracht door Niepce de Saint-Victor, een neef van Nicéphore Niepce.

Wij kunnen hier de verschillende wijzen van photographeren *niet allen* beschrijven; alleen moeten wij vermelden, dat zij

wezenlijk verschillend zijn van die van Daguerre. Bij laatstgenoemden verkrijgt men dadelijk het beeld, terwijl men bij de photographie eerst een beeld verkrijgt waarvan de verlichting omgekeerd is, dat wil zeggen, de lichte partijen zijn donker, de donkere licht: dit is het *negatieve beeld*. Vervolgens verkrijgt men door middel van dit eerste beeld een tweede, waarvan de verlichting wederom omgekeerd en dus juist goed is: dit is het *positiere* beeld. Deze beide beelden verkrijgt men door papier, met een zilver-zout doortrokken, dat de eigenschap bezit om door de werking van het licht zwart te worden.

Het voordeel van de photographie licht hierin, dat men, eenmaal een negatief beeld verkregen hebbende, hiervan zooveel positieve kan verkrijgen als men verlangt.

358. **Diorama.** Men geeft den naam van *diorama* (van twee Grieksche woorden afgeleid, die *doorheen* en *zien* beteekenen) aan doeken, die aan beide zijden beschilderd en die doorschijnend zijn. De voorstellingen zijn tegenovergesteld, even als in het polyorama, al naarmate men dit doek beschouwt bij doorgelaten of bij teruggekaatst licht.

Het doek staat vertikaal in eene donkere kamer zooals fig. 279 voorstelt. Eerst ziet men het voorgestelde op de voorvlakte, die door teruggekaatst, dan het voorgestelde op de achtervlakte, die door doorgelaten licht verlicht wordt. Om dit te verkrijgen zendt een venster M, op eene bovenverdieping, het licht op een scherm E, dat het naar het doek terugkaatst en dit dus zoo van voren verlicht. Achter het doek is een ander venster N, dat, wanneer het open is, het doek van achteren kan verlichten. Zijn de luiken NN gesloten, dan zien de aanschouwers hetgeen aan de voorzijde van het doek geschilderd is: langzamerhand laat nu een werkman het scherm A zakken, het licht vermindert meer en meer, en is het schilderstuk bijna niet meer verlicht, dan opent men de luiken N N: nu komt, hetgeen aan de achtervlakte geschilderd is, duidelijk te voorschijn en stelt zich in de plaats van het eerste.

Hoewel geen optisch instrument, hebben wij hier de beschrijving van het *diorama* gegeven, omdat wij het aan Daguerre, den beroemden uitvinder der daguerreotype, verschuldigd zijn. Hij had eene groote bekwaamheid in dit soort van schilderwerk en zijne tafereelen trokken langen tijd

de menigte. In het bijzonder was dit het geval met zijne *vallei van Goldau*, waar woeste, omgestorte rotsen het gezicht van eene liefelijke vallei vervangen. De hierbij gevoegde

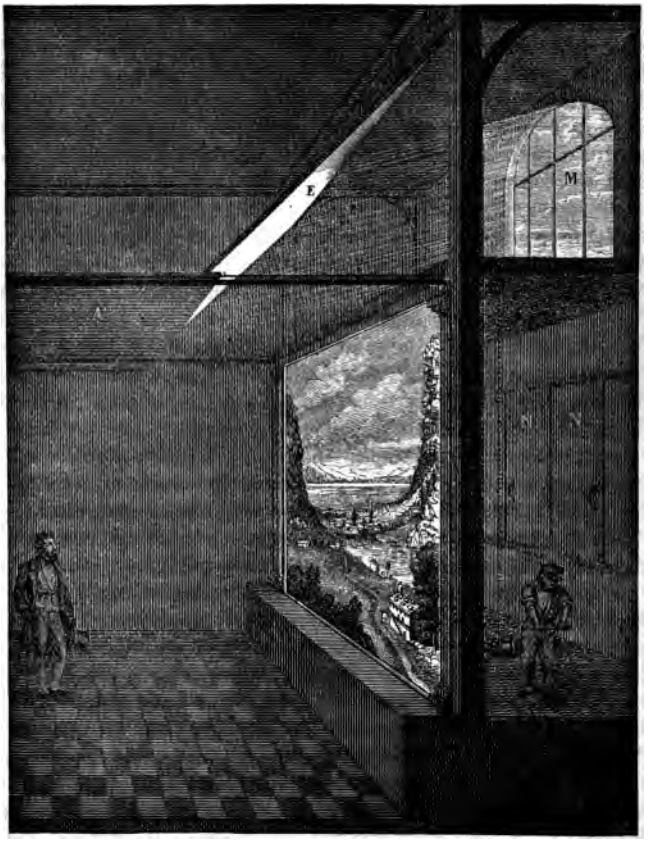


Fig. 279. Diorama van Daguerre.

teekening vertoont ons de vallei vóór de verwoesting. Op *het oog*enblik, dat het scherm E het licht onderschepte, *zag men* den bliksem, hoorde men den donder en alles deed

aan een hevigen storm denken: werd het vervolgens weer dag, dan zag men de rotsen voor een deel in het meer gestort en de hut verwoest. In één woord, men had met een verbazenden schijn van waarheid het beeld van verwoesting en ellende voor oogen. Het gezichtsbedrog door de schilderstukken van Daguerre was zoo volkomen, dat men verhaalt, dat een boer uit de omstreken van Parijs, die het diorama van de *kerk Saint-Germain-l'Auxerrois* bezocht, zoodanig verwonderd was, dat hij een geldstuk uit den zak kreeg en dit naar het doek wierp, om de zekerheid te erlangen of het een doek was dan wel de ruimte, wat hij voor oogen had.

359. Voorstellingen van geestverschijningen. Wij willen hier nog een verschijnsel verklaren, dat sedert eenige jaren zijne toepassing gevonden heeft op vele tooneelen in de schouwburgen van Londen en Parijs, en ook in Nederland met veel belangstelling werd aanschouwd. In Parijs maakte zich Robin bijzonder bekend door zijne voorstellingen van dezen aard.

Om het doen verschijnen van geesten duidelijk te maken, moeten wij den lezer opmerkzaam maken op een verschijnsel, dat hij zeer zeker reeds meermalen heeft waargenomen. Wanneer men 's nachts per spoortrein reist en door de ruiten van het portier ziet, neemt men in die ruiten het bleeke en onbepaalde beeld waar van de reizigers, die met ons op de banken gezeten zijn. Het is een gevolg van de terugkaatsing van deze ruiten, die, even als gewone platte spiegels, het licht terugkaatsen, dat de personen en voorwerpen, die in het vertrek zijn, beschijnt: en de geringe helderheid van de beelden vloeit hieruit voort, dat de ruiten het meeste licht, dat op haar valt, *door* latende, slechts een gering gedeelte van dit licht terugkaatsen naar het oog van den waarnemer. Men ziet hetzelfde des avonds in eene goed verlichte straat, als men de groote spiegelruiten van sommige winkels voorbij gaat, die weinig of niet verlicht zijn; men ziet dan zijn eigen beeld en dat der voorbijgangers aan de andere zijde van de winkelruiten. Bij vollen dag wordt dit verschijnsel minder waargenomen, omdat de beelden, die zich trachten te vormen, uitgewischt worden door het heldere licht

Het zijn deze gevolgen van de terugkaatsing, welke men in toepassing gebracht heeft op het tooneel, om geestverschijn*ingen voor te stellen*. In fig. 280, zien wij het toestel.

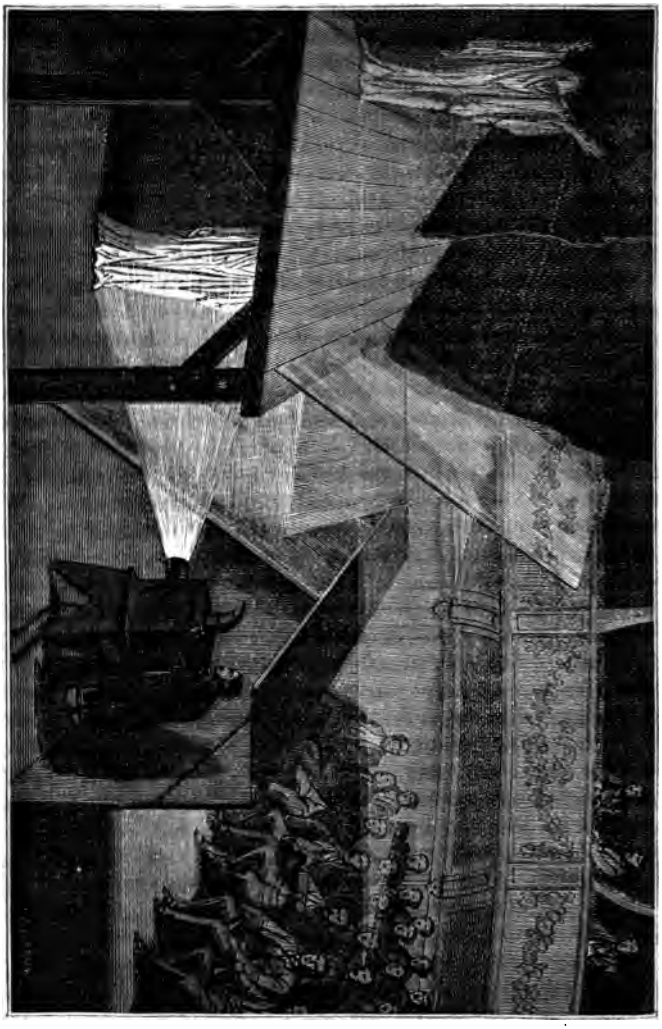


Fig. 280. Voorstellingen van geestverschijningen.

nder de planken van het tooneel, en dus onzichtbaar voor › toeschouwers, bevindt zich de tooneelspeler in een doodeed gehuld, die het beeld van een geest moet voorstellen. usschen de toeschouwers en den tooneelspeler vinden wij ›ne lamp, die een bijzonder sterk licht geeft. Een persoon cht nu deze lamp op den speler; en het doodkleed, nu zeer erk verlicht, zendt zijne stralen uit naar een spiegelvlak, at eenigzins hellend geplaatst is, bij dengene, die de lamp estuurt. Deze spiegel, die verfoelied is, kaatst den lichtundel bijna geheel terug naar een tweeden spiegel, die niet erfoelied is en vooraan op het tooneel zelf staat. Maar eze spiegel is nu in het geval van de ruiten der spoorwagens f der winkels, waarvan wij zoo even spraken, en laat het rootste deel der opvallende stralen door, en kaatst dus weiig licht voor de toeschouwers terug. Maar nu draagt men org, dat op dit oogenblik de zaal, waarin zich de toeschouvers bevinden, slechts zeer weinig verlicht zij, en dus is het icht sterk genoeg om een nevelachtig beeld te geven van len speler, die onder het tooneel zich bevindt.

Komt nu een ander speler op het tooneel, dan zien de toeschouwers dezen zeer duidelijk door den spiegel heen, en zoo deze speler zich nu achter den spiegel bevindt op gelijken afstand als het beeld, dan kan hij zijn spel met dat van den geest vereenigen en zoo een volkomen zinsbedrog te voorschijn roepen.

Men kan hetzelfde verschijnsel verkrijgen met eene enkele spiegelruit; maar daar de schuinsche stand van deze dan ook hellende beelden zou te voorschijn roepen, moet de speler, om deze beelden weder recht te maken, zelf in schuinsche richting staan, hetgeen zijn spel zeer moeijelijk maakt. Met de beide spiegels, in nevensgaande figuur voorgesteld, kan de speler zijn natuurlijken stand behouden.

HOOFDSTUK IX.

HET ZIEN EN DE STEREOSCOOP.

§80. Bouw van het oog en het zien. Hoewel de beschrijving van het oog veeleer behoort tot de physiologie dan wel

tot de physica, willen wij toch in enkele trekkken den bouw van dit orgaan schetsen, dat niet alleen werkelijk een optisch insrument is, maar een werktuig van eene onnavolgbare volmaaktheid, want het lijdt noch aan spherische, noch aan chromatische aberratie, en bezit daarenboven de merkwaardige eigenschap van zich in te richten om duidelijk op alle afstanden te zien, welke eigenschap de andere optische instrumenten missen.

De vorm van het oog is die van een bol, waarvan de kromming aan de voorzijde grooter is dan aan den achterkant, en het is door verscheidene vliezen omgeven, die wij in fig. 281 van voren naar achteren geopend voorstellen. Aan

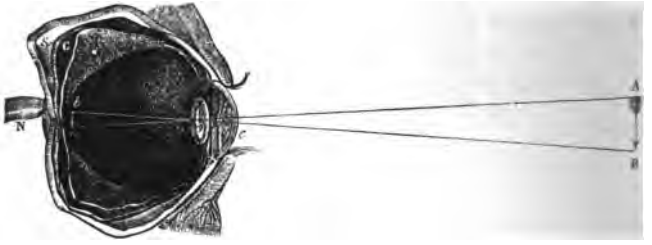


Fig. 281. Vorming van beelden op de retina.

de voorvlakte van het oog is een doorschijnend vlies *c* gelegen, de *cornea* of het *hoornvlies;* de omtrek, die schuins toeloopt, is zonder duidelijke grenzen vervat in den *harden oogrok (sclerotica)*, welke in vereeniging met het hoornvlies al de samenstellende deelen van het oog omvat. Voor zoover dit vlies *(het ondoorschijnend hoornvlies of harde oogrok)* van buiten zichtbaar is, noemt men dit *het wit van het oog.* Op kleinen afstand achter de cornea vindt men een ringvormig middelschot *h i*, dat men het *regenboogvlies* of de *iris* noemt; het is de verschillend gekleurde schijf, die wij midden in het wit van het oog waarnemen. In het midden van de iris is eene opening, welke *pupil* of *oogappel* genoemd wordt. Door deze opening, bij den mensch cirkelvormig, bij de kat nauw en in de lengte uitgerekt, is het dat de lichtstralen in het oog doordringen. Na de iris volgt de *kristallens o*, eene doorschijnende massa, die biconvex is en als zulk eene lens werkt. De doorschijnende massa, die best met eiwit kan vergelijken worden, en die den ganschen oogbol achter de kris-

llens vult, wordt het *glasachtig vocht* of *humor vitreus* ge-
ıemd, en vooraan in het oog tusschen de cornea en de kris-
llens is een ander glashelder vocht, dat den naam heeft
n *waterachtig vocht* of *humor aqueus*. Eindelijk is het binnen-
deelte van het oog aan den achterkant bekleed met een
cht, doorschijnend vlies R, het *netvlies* of de *retina:* in dit
tvlies verdeelt zich straalvormig de zenuw N, die naar de
rsenen den indruk van licht, van het zien, overbrengt en
s de *gezichtszenuw* genoemd wordt. Om de retina heen vindt
ın nog een vlies *c*, het *vaatvlies*, *adervlies*, *choroïdea* ge-
emd; het bevat eene menigte bloedvaten en stervormige en
ıhoekige cellen, welke met zwarte korreltjes, pigment-kor-
tjes, gevuld zijn; het vlies verkrijgt hierdoor eene zwarte
ıur en dient om alle lichtstralen op te slorpen, die niet
het duidelijk zien medewerken. Eindelijk omringt de *harde*
rok of *sclerotica* S, den geheelen oogbol en vereenigt zich
ı voren, zoo als wij reeds zagen, met de cornea.

Wij zien, dat het oog werkelijk eene kleine donkere kamer
de pupil is de opening in het luik, de kristallens is de
ıvergeerende lens, die het beeld moet vormen, en de retina
het scherm waarop dit beeld klein en omgekeerd geworpen
rdt. Verder is het de gezichtszenuw, die naar de hersenen
ı indruk overbrengt, welke op het zenuwstelsel van de
ına door de trillingen van den aether voortgebracht is, en
ons de voorwerpen doet zien.

Veel is er geschreven om te verklaren hoe wij de voor-
pen zien, juist zoo als zij gelegen zijn; terwijl toch hun
ld omgekeerd in het oog gevormd wordt. Sommigen mee-
, dat het door gewoonte is en door eene werkelijke op-
ding van het oog, dat wij de voorwerpen in hunnen rechten
ıd terug gebracht zien, d. i. in den stand met betrekking
ons. Anderen weer nemen aan, dat wij de werkelijke
ıts der voorwerpen overbrengen in de richting der lichtstra-
die zij uitzenden, omdat, daar deze stralen elkander in
kristallens kruisen, het oog de punten A en B, in de
ste figuur, ieder op zich zelf ziet in de richting *a* A en
, en het voorwerp zich dus niet omge[illegible] [illegible]chtop
oont. Dit was het gevoelen van d'Al[illegible] [illegible]olk-
n en anderen beweren, dat, daar [illegible]st
en zien, en niet slechts één voorw[illegible] [illegible]-

dere, er zich dan ook niets omgekeerd kan vertoonen, dewijl wij zoo alle punten van vergelijking missen. Men moet echter bekennen dat geene van deze theorieën inderdaad kan bevredigen.

361 **Afstand van het duidelijk zien, myopie (bijziendheid) en presbytismus (verziendheid).** Men weet dat bij de biconvexe lenzen de afstand van de beelden tot de lens toe- of afneemt naarmate de voorwerpen dichter bij of verder af gelegen zijn (zie 303): bij gevolg zoude, naar den afstand der voorwerpen die men beschouwt, het door de kristallens gevormde beeld zich nu eens moeten vormen juist op de retina, dan weder een weinig voor of achter dit vlies. Men zou dus slechts op een zekeren afstand de voorwerpen duidelijk kunnen zien; al die dichter bij of verder af gelegen waren zouden onduidelijk zijn. Maar bij een goed gevormd oog heeft dat geen plaats, want het ziet klaar en duidelijk op zeer verschillende afstanden, waaruit men besluit, dat het beeld zich steeds op de retina vormt. Dit is eene zeer merkwaardige eigenschap van het oog, dat *het zich kan inrichten (accommoderen) tot het zien op alle afstanden*. Het vermogen daartoe wordt het *accommodatie-vermogen* van het oog genoemd.

Maar, hoewel nu het oog zeer goed de voorwerpen op verschillende afstanden onderscheidt, toch is er een bepaalde afstand voor ieder individu, waarop dit zien juister is dan op eenigen anderen. Deze afstand, *afstand van duidelijk zien* genaamd, verschilt naar gelang van het individu en dikwijls bij hetzelfde individu naar gelang van het eene of het andere oog. Bij kleine voorwerpen zooals drukletters bedraagt hij, bij normalen toestand van het oog, gewoonlijk 25 à 30 Ned. duimen. Zij, bij wie de afstand van duidelijk zien minder is, hebben een slecht gevormd oog en men noemt hen *bijziende*, terwijl zij, voor wie de afstand van duidelijk zien grooter is dan 30 Ned. duimen, *verziende* genoemd worden.

De gewone oorzaak van de *myopie (bijziendheid)* is eene te groote bolvormigheid van de cornea of de kristallens. Het oog is dan te sterk convergeerend, de lichtstralen ondergaan dan eene breking zoodanig, dat zij het beeld in de plaats van *op*, een weinig *vóór* de retina vormen, het beeld is dan onduidelijk. Brengt men nu de voorwerpen dichter bij het oog, dan verwijdert zich het beeld (zie 319) en vormt zich op de retina als de voorwerpen nabij genoeg gebracht

zijn: dit verklaart waarom de myopen alleen van zeer nabij zien. Zij kunnen duidelijker zien, wanneer zij de oogleden samenknijpen; of wanneer zij door een klein gaatje, dat in eene kaart gestoken is, zien; omdat daar dan de diameter van den lichtbundel, die in het oog treedt, zeer verhinderd is, de lichtstralen alleen in het midden de kristallens kunnen doorgaan en bij gevolg minder de overgroote bolvormigheid ondervinden en dus hun brandpunt verder af hebben. De myopie komt veel bij jonge lieden voor; naarmate men ouder wordt neemt de bolvormigheid af; zoodat het gezicht der myopen in het algemeen beter wordt, op een leeftijd waarop dit bij anderen vermindert.

Het *presbytisme*, dat het omgekeerde is van de myopie, ontstaat door de niet genoegzame bolrondheid der kristallens. Daar het oog dan niet convergeerend genoeg is, vormen de lichtstralen hun brandpunt weer niet op de retina, maar verder af, achter deze, en dit geeft dus weer een onduidelijk beeld. Verwijderen zich echter de voorwerpen, dan komt het beeld meer naar de kristallens toe en vormt het zich juist op de retina, zoodra deze voorwerpen ver genoeg verwijderd zijn; en dit verklaart, waarom de presbyten alleen in de verte kunnen zien.

Men verbetert de myopie door voor de oogen divergeerende lenzen te plaatsen; door deze glazen verspreidt de bundel zich meer voor hij in het oog treedt en wordt het brandpunt van de kristallens achteruit geschoven tot de retina; alleen de graad van divergeeren moet goed in verband zijn met de te groote bolvormigheid van het oog. Voor de presbyten integendeel moet men gebruik maken van convergeerende lenzen, om zoo van het gemis van bolvormigheid van het oog te gemoet te komen. De stralen worden dan meer convergeerend eer zij het oog intreden en doen het beeld zich op de retina vormen.

Langen tijd maakte men uitsluitend gebruik van biconcave lenzen voor de bijzienden en van biconvexe voor de verzienden. Doch men kan niet genoeg aan hen, die brillen dragen, aanraden om alleen concaaf-convexe lenzen te gebruiken, als voorgesteld zijn bij O in fig. 233, wanneer zij verziende zijn: of bij R in fig. 234; zoo zij bijziende zijn. Door Biot is het gebruik van deze glazen uit Engeland in Frankrijk ingevoerd. Zij zijn bekend onder den naam van *periscopische*

zen, daar zij de voorwerpen, die verder van de optische as gelegen zijn, veel juister doen zien. Deze lenzen worden zoo geplaatst dat hare krommingen in dezelfde richting geplaatst zijn als die van het oog.

362. **Enkelvoudig zien met de beide oogen.** Hoewel wij twee oogen hebben, en er zich, terwijl wij een voorwerp beschouwen, op iedere retina een beeld vormt, nemen wij toch slechts één voorwerp waar, evenals wij met de beide ooren slechts één toon hooren. Verschillende hypothesen zijn gesteld om dit enkelvoudig zien met beide oogen te verklaren. Sommigen houden het voor een gevolg der gewoonte; anderen, het aan eene physiologische oorzaak toeschrijvende, hebben de meening geuit, dat twee rechts of links overeenkomende punten op de beide retina's in verband staan met een zelfden rechter- of linker-zenuwdraad in de hersenen, die vorksgewijze is gespleten bij de onderlinge kruising der twee gezichtszenuwen: waaruit volgt, dat deze twee gelijktijdige indrukken op de twee retina's eindelijk slechts eene eenige aandoening opwekken.

Het gelijktijdig met twee oogen zien doet ons niet alleen de voorwerpen duidelijker aanschouwen, maar doet ons ook hun relief zien, zoo als de volgende proef met den stereoscoop aantoont.

363. **De Stereoscoop.** De *stereoscoop*, zoo genoemd naar twee Grieksche woorden, die *ligchamelijk zien*, *met de drie afmetingen zien* beteekenen, is een toestel, dat door Wheatstone te Londen uitgevonden is in 1838, en in den vorm gebracht, zoo als wij hem tegenwoordig bezitten, door Brewster. Deze bracht hem naar Frankrijk over in 1850, waar hij weldra algemeen bekend werd door Duboscq en Moigno: de eerste vervaardigde een groot aantal en de laatste maakte de inrichting en het gebruik er van in een klein werkje bekend.

Om ons rekenschap te geven van het stereoscopisch zien, moeten wij opmerken, dat, wanneer wij een voorwerp met de beide oogen beschouwen, ieder oog op zich zelf het niet juist in denzelfden stand ziet, maar in perspectief een weinig verschillend. Laat bijv. een kleinen cubus, als een dobbelsteen, op een kleinen afstand staan en telkens met één oog worden aangezien, terwijl het hoofd van den waarnemer onbewegelijk blijft. Stel dat de dobbelsteen juist eene zijde vlak

naar den waarnemer keert, dan zal deze, met het linker oog ziende, deze zijde zien en een gedeelte van de linker zij-

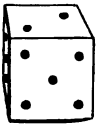


Fig. 282.

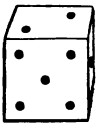


Fig. 283.

vlakte, terwijl de andere zijvlakte verborgen blijft; maar ziet hij met het rechter oog, dan neemt hij ook de voorvlakte waar, maar daarbij een gedeelte van de rechter zijvlakte, terwijl nu de linker zijvlakte verborgen blijft. Hieruit blijkt dus dat de beelden, die op de bijde retina's gevormd worden, niet geheel en al gelijk zijn: want elk is uit een ander gezichtspunt genomen. Het is dit verschil van beelden, dat ons den indruk geeft van het relief der vaste ligchamen en dat ons hunne grootte en hunnen afstand doet schatten.

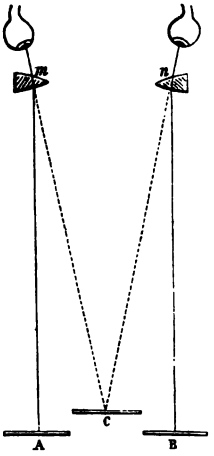


Fig. 284. Gang van de lichtstralen in den stereoscoop.

Teekent men op een blad papier op eenige centimeters afstand van elkander twee schetsen van hetzelfde voorwerp, maar zoo, dat de eene perspectivisch behoort bij het rechter oog, de andere bij het linker oog, en ziet men dan met elk oog afzonderlijk naar die teekening, die bij dat oog behoort, en wel door prisma's of lenzen, die de teekeningen doet samenvallen door de lichtstralen zulk eene richting te geven alsof zij van een eenig voorwerp afkwamen, dan is het duidelijk, dat de indruk, op elke retina voortgebracht, juist zoodanig is alsof men één voorwerp voor oogen had. En waarlijk de misleiding is volkomen en hoogst verrassend, zoo eigenaardig en levendig is de opvatting van het relief en perspectief.

Hierop berust de stereoscoop. In fig. 284 hebben wij den gang der lichtstralen in dit instrument voorgesteld. In A is de teekening van het voorwerp door het linker oog gezien, in B die van hetzelfde voorwerp door het rechter oog gezien. De lichtstralen, die van deze beelden uitgaan, vallen op twee lenzen *m* en *n*, en nemen, na haar te zijn doorgegaan, juist dezelfde richting aan, alsof zij van het punt C kwamen: hier komt dus in relief het voorwerp te voorschijn, dat in A en B wordt voorgesteld.

Het is volstrekt noodzakelijk, dat de twee lenzen *m* en *n* juist dezelfde afwijking aan de lichtstralen geven en daarom moeten zij volmaakt aan elkander gelijk zijn. Brewster verkrijgt dit door eene biconvexe lens midden door te snijden

Fig. 285. Dubbele photographische afbeelding voor den stereoscoop.

en den rechter kant voor het linker oog, vervolgens den linker kant voor het rechter oog te plaatsen, zoo als fig. 284 aantoont.

Om den indruk van het relief te geven moeten de twee ongelijke beelden in A en B, uit twee ongelijke gezichtspunten gezien, zoo getrouw het zelfde voorwerp wedergeven, dat het onmogelijk zoude zijn ze uit de hand te teekenen; alleen door de photographie kan men hiertoe geraken. In fig. 285 zien wij twee photographische afbeeldingen, genomen onder een klein verschil van hoek, van een borstbeeld van

Franklin. Men ziet dat de linksche meer van voren (*en face*) gezien wordt: deze is voor het linker oog; terwijl de andere, die meer op zijde (*en profil*) genomen is, met het rechter oog beschouwd moet worden. Zijn deze twee afbeeldingen in een stereoscoop geplaatst, dan verdwijnen zij voor den waar

Fig. 286. Relief in den stereoscoop.

nemer; want dan vereenigt zich de indruk, op ieder oog afzonderlijk voortgebracht, tot een eenig beeld, zoo als fig. 286

voorstelt: en het orgineel komt dan en relief te voorschijn zoo volkomen, dat men zich niet zoude kunnen voorstellen, dat men slechts eene teekening op een plat vlak voor oogen heeft.

De stereoscoop, die hierbij wordt afgebeeld, verschilt een weinig van de gewone; in plaats van in twee buizen bevestigd te zijn, zijn de lenzen, die daarenboven breed zijn en met den rand elkander raken, gevat op de wijze van een lorgnet. Deze wijziging van Duboscq maakt, dat hoever de oogen ook uit elkander staan, het zien toch goed gaat: hetwelk geen plaats kan hebben, als de lenzen kleiner en in buizen gevat zijn, daar dan de afstand van deze beiden niet altijd aan dien der oogen van den waarnemer gelijk is.

ZEVENDE BOEK.

MAGNETISME.

HOOFDSTUK I.

EIGENSCHAPPEN DER MAGNETEN.

364. **Natuurlijke en kunst-magneten.** De *natuurlijke magneet* of *magneetsteen* is een mineraal, dat de eigenschap heeft ijzer en eenige andere metalen, bijzonder *nickel* en *cobalt*, aan te trekken. Dit mineraal is een oxyde van ijzer, dat wil zeggen het bestaat uit ijzer en zuurstof evenals de ijzerroest, waarvan het alleen verschilt door een kleiner gehalte aan zuurstof.

De magneet heeft ook nog de merkwaardige eigenschap van, wanneer hij op een stift draaijen kan of aan een draad opgehangen is, zich te richten naar een bepaald gedeelte van den horizon; en deze eigenschap is het welke aan dezen geheimzinnigen steen, van zwartbruine tint, zonder eenigen glans, eene plaats geeft verre boven de meest gezochte edelgesteenten. Want hij is het die de zeevarenden geleidt midden in de duisternis, terwijl hij hun een middel geeft om met even veel zekerheid hunnen weg op zee te vervolgen als op het vaste land.

De magneet was bij de ouden bekend. De naam wordt afgeleid van de stad Magnesia in Lydia, in wier omtrek hij ook gevonden werd. Onder *magnetisme* verstaan de natuurkundigen het geheel der verschijnselen, welke de magneten aanbieden. Natuurlijke magneten vindt men op bijna alle punten van onze aarde: de krachtigste komen van Zweden en Noorwegen.

Behalve de natuurlijke magneten heeft men ook *kunst-magneten*, zoo genoemd omdat zij door kunst verkregen worden. Zij zijn van staal, eene zelfstandigheid bestaande uit ijzer en eene zeer kleine hoeveelheid koolstof. Wanneer men staal sterk

verhit en het dan plotseling afkoelt door het in koud water te werpen, verkrijgt het eene groote hardheid, en deze hardheid is het, die het voor het vervaardigen van snijdende werktuigen zoo geschikt maakt. Van nature trekt het staal het ijzer niet aan, maar wanneer het gehard is, kan men het deze eigenschap mededeelen door het te bestrijken met een sterken magneet; want dan wordt het zelf een magneet.

De kunstmagneten hebben geheel en al dezelfde eigenschappen als de natuurlijke magneten, maar zij zijn veel sterker. Nu eens geeft men hun den vorm van *staven* van 40 tot 50 centim. lengte, zoo als voorgesteld zijn in fig. 294 en 295; dan eens van een *hoefijzer*, het zijn dan *hoefmagneten*, zie fig. 296; of eindelijk, zoo zij bewegelijk moeten zijn, neemt men dunne, lange naalden (zie fig. 291). Bevindt zich midden in zulk eene naald een van onderen uitgeholde agaat, welke op een stalen stift rust, waarop hij dan vrij kan drijven, zoo wordt de kunstmagneet eene *magneetnaald* genoemd.

365. **Verbreiding van de magneetkracht in de magneten.** De kracht, waarmede een magneet het ijzer aantrekt, is niet op alle punten even sterk. Aan de uiteinden heeft de grootste aantrekking plaats: van hier neemt zij af tot aan het midden, waar zij nul is. Om dit aan te toonen dompelt men eene magneetstaaf in ijzervijlsel. Men vindt, wanneer zij er uitgetrokken wordt, aan het uiteinde het ijzervijlsel in lange dichte draden hangen (zie fig. 287), maar rolt men haar er geheel in rond, dan hecht zich geen enkel deeltje aan het middengedeelte.

De beide uiteinden, waar de grootste aantrekking plaats grijpt, worden de *polen* van den magneet genoemd; dat gedeelte, waar de magneetkracht onmerkbaar is, heet de *neutrale lijn* of *middellijn*. Elke magneet, natuurlijk of kunstmatig, van welken vorm ook, heeft twee polen en eene neutrale lijn. Somwijlen echter neemt men, behalve deze polen in de lengte van de staaf, nog daar tusschen liggende polen waar, welke men *volgpunten* noemt. Dit hangt af van eene ongelijke harding, of van het onregelmatig strijken, terwijl men de staaf gemagnetiseerd heeft. Wij zullen echter steeds veronderstellen, dat de magneten twee polen hebben, hetgeen dan ook in den regel het geval is.

De magneet oefent zijne werking uit door alle ligchamen. Plaatst bijv. op eene tafel eene gemagnetiseerde staaf,

leg daarover heen een vel bordpapier en laat door een fijn zeefje hier ijzervijlsel op vallen. Naar mate dit valt en door

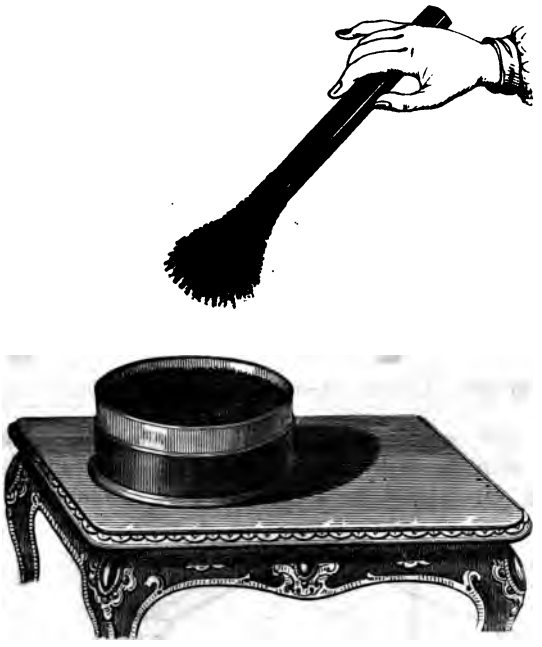


Fig. 287. Een magneet ijzervijlsel aantrekkende.

de wederkeerige werking der twee polen wordt aangetrokken, schikt het zich in lange lijnen, die met eene regelmatige kromming gaan van de eene pool tot de andere, zoo als in fig. 288 wordt aangetoond.

366. **Hypothese van de twee magnetische vloeistoffen: wetten van hare aantrekking en wederkeerige afstooting.** Wanneer men onderling de twee polen van een magneet vergelijkt met betrekking tot de aantrekking, die zij op het ijzer uitoefenen, vindt men eene volkomen gelijkheid: maar dit is niet meer het geval bij de weerkeerige werking, die de polen van twee *magneten op elkander* uitoefenen. Zoo men aan dezelfde pool

van eene magneetnaald *a b*, die op eene stift beweegbaar is,

Fig. 288. Werking der magneten door de ligchamen heen.

zie fig. 289, achtereenvolgens de twee polen van een magneet, welken men in de hand heeft, aanbiedt, neemt men het merkwaardig verschijnsel waar, dat de pool *a* van de naald door

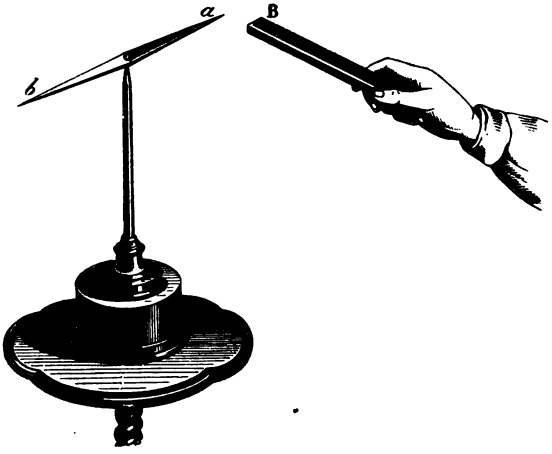


Fig. 289. Aantrekking tusschen de ongelijknamige polen.

pool B van de staaf aangetrokken wordende, afgestooten wordt door de andere pool van de staaf: dit toont aan dat de beide polen van den magneet niet in alle opzichten aan elkander gelijk (identisch) zijn, want de eene stoot op de pool *a* af, de andere trekt haar aan. Hetzelfde verschil tusschen de beide polen van de naald *a b* kan men ook gemakkelijk aantoonen; want biedt men achtereenvolgens dezelfde pool B aan elk der uiteinden van de naald aan, dan ziet men, dat, terwijl pool *a* aangetrokken wordt, pool *b* afgestooten wordt.

Om deze tegengestelde werking van de polen eens magneets te verklaren, heeft men het bestaan van twee *magnetische vloeistoffen* aangenomen, dat wil zeggen van twee uiterst fijne stoffen, waarbij de deeltjes van dezelfde stof elkander afstooten, terwijl de deeltjes der eene die der andere aantrekken. Naar deze hypothese is het verschil der polen alleen gelegen in de hoedanigheid van de vloeistof, die er aanwezig is: zoodat twee polen, die dezelfde vloeistof bevatten, die *gelijknamig* zijn, elkander afstooten, en zij die ongelijke vloeistoffen bevatten, die *ongelijknamig* zijn, elkander aantrekken.

De aarde, zoo als wij weldra (in § 370) zullen zien, werkt op magneetnaalden als een magneet: men heeft haar wel eens beschouwd als een zeer grooten magneet, waarvan de magnetische polen dicht bij de aardsche polen zijn en waarvan de neutrale lijn nagenoeg met den aequator overeenkomt. De vloeistof, die het overwicht heeft aan de noordpool van de aarde, noemt men de noorder magnetische vloeistof, en de andere, die aan de tegenovergestelde pool de overhand heeft, de zuidervloeistof. Blijft nu eene magneetnaald staan in de richting van Noord en Zuid, dan bevat de naar het Noorden gekeerde pool de zuidervloeistof en de naar het Zuiden gerichte pool de noordervloeistof. Daarom zoude de naar het Noorden gerichte pool de zuidpool, en de andere, die naar het Zuiden gericht is, de noordpool genoemd moeten worden. De Franschen doen dit: wij Nederlanders echter met vele andere volken noemen *noordpool*, die naar het *noorden*, en *zuidpool*, die naar het *zuiden* gericht is. In onze afbeeldingen is de noordpool steeds door de letters *a* en A aangewezen en de zuidpool door de letters *b* en B.

De magnetische aantrekking en afstooting laten zich onder de twee volgende wetten brengen:

1°. *de ongelijknamige polen trekken elkander aan en de gelijknamige stooten elkander af;*

2°. *de aantrekking en afstooting geschiedt in omgekeerde reden van het quadraat van den afstand.*

367. **Invloed van magneten op magnetische ligchamen.** *Magnetische ligchamen* worden die ligchamen genoemd, die de twee magnetische vloeistoffen bevatten, maar in neutralen toestand, d. i. evenwicht met elkander makende door hare tegengestelde werking. Deze stoffen zijn: ijzer, staal, nickel, cobalt. De magneten bevatten ook deze twee vloeistoffen, maar gescheiden; zij toonen dan ook eene tegengestelde uitwerking; terwijl in de magnetische ligchamen, deze vloeistoffen vereenigd zijn en geene werking naar buiten uitoefenen. In een woord, de magnetische ligchamen kunnen magneten worden, maar zijn het niet; zij hebben noch polen, noch neutrale lijn.

Wordt een magnetisch ligchaam in aanraking gebracht met eene der polen van een magneet, bijv. met de noordpool, dan werkt deze pool aantrekkend op de zuid-vloeistof en afstootend op de noord-vloeistof in het magnetisch ligchaam; de twee vloeistoffen worden dan gescheiden, er ontstaan polen en zoo wordt het magnetisch ligchaam een magneet. Brengt men bij een staafmagneet een ijzeren voorwerp, bijv. een ring, dan wordt deze niet alleen gedragen, maar verkrijgt ook de eigenschap om eenen anderen te dragen, voorts deze tweede eenen derden en zoo vervolgens (zie fig. 290), daar ieder een magneet wordt door den invloed van den boven hem zijnde. Maar neem den magneet weg, dan is de onzichtbare band van deze keten verbroken en de ringen vallen los. De scheiding der twee vloeistoffen was dus slechts voorbijgaande en de magneet zelf gaf van zijn vermogen niets aan het ijzer over.

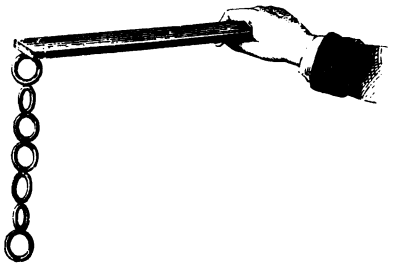


Fig. 290. Opwekking van magnetisme.

Deze werking van een magneet op een magnetisch ligchaam *noemt* men *opwekking van magnetisme*. In de theorie der twee

vloeistoffen is het ten gevolge van de opwekking van magnetisme, dat een magneet het ijzer en de andere magnetische ligchamen aantrekt; want eerst scheidt de magneet de beide vloeistoffen, die in het ligchaam aanwezig zijn, en daarna wordt de tegengestelde aan die van den magneet door dezen aangetrokken.

368. **Coërcitief-kracht.** Alle magnetische ligchamen geven niet even ligt toe aan de scheiding der magnetische vloeistoffen, onder den invloed van eenen magneet. In sommige ontstaat deze scheiding zonder eenige moeite, om zoo te zeggen, oogenblikkelijk, bijv. in het *week* ijzer, dat is zuiver ijzer; andere bieden meer of min weerstand aan deze scheiding; men kan haar niet verkrijgen dan door krachtige magneten en zij vereischt dan ook meer tijd: in het laatste geval verkeeren gehard staal en het ijzer, wanneer het met vreemde stoffen als zwavel, phosphorus verbonden is.

Het vermogen, waarmede een magnetische ligchaam zich verzet tegen de scheiding der beide vloeistoffen, noemt men de *coërcitief-kracht.* In week ijzer is deze kracht nul; in gehard staal is zij zeer groot en groeit aan met den graad van harding. Daarom wordt week ijzer, in aanraking met een magneet, dadelijk zelf een magneet; maar het verliest zijne magnetische eigenschappen zoodra de magneet verwijderd wordt, omdat de vloeistoffen, die straks gescheiden waren, zich nu weer vereenigen. Dit is niet het geval met staal: met een magneetstaaf in aanraking wordt het zelf eerst langzaam magnetisch, maar van de magneetstaaf verwijderd, behoudt het voor altijd, ten minste gedeeltelijk, de magneetkracht, die het ontving, daar de coërcitief-kracht, die eerst de scheiding der vloeistoffen tegenging, nu ook de hereeniging tegenwerkt.

HOOFDSTUK II.

AARDMAGNETISME, KOMPASSEN.

369. **Richting der magneten naar het noorden.** Wij zagen reeds (in § 365), dat de aantrekking, welke de magneten op ijzer uitoefenen, niet de eenige eigenschap is, welke zij ons aanbieden. Zij bezitten ook de niet minder merkwaardige

eigenschap, wanneer zij zoodanig opgehangen zijn, dat zij vrij in een horizontaal vlak zich kunnen bewegen, van zich te plaatsen in eene richting van Noord en Zuid. Neem eene magneetnaald, die vrij op eene stift kan draaijen (zie fig 291), zij neemt altijd, hoe men haar ook moge plaatsen, juist dezelfde richting aan: de eene pool richt zich noordelijk, de andere zuidelijk. Brengt men nu, òf met den vinger òf met de aantrekkende of afstootende pool van eenen anderen magneet, deze naald uit hare richting, steeds komt zij juist in haren eersten stand terug.

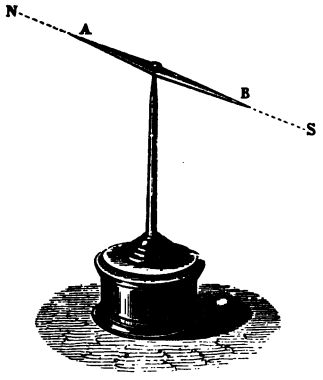


Fig. 291. Richtende kracht der aarde op de magneten.

Men kan, in plaats van op eene stift, de magneetnaald ook op eene kurken schijf en deze op water plaatsen; men ziet dan de schijf langzaam omdraaijen en eerst dan stilstaan, wanneer zij juist weer de richting heeft aangenomen als straks op de stift. Bij deze tweede proef moeten wij opmerken, dat de kurken schijf alleen in deze of gene richting draait, en in het midden van het vat blijft, zonder naar het Noorden of Zuiden te drijven: men besluit hieruit, dat de kracht, die op de naald werkt, alleen *richtend*, niet aantrekkend is.

Dezelfde waarnemingen, op verschillende punten van den aardbol gedaan, stemmen nagenoeg allen met elkander overeen, en naar aanleiding van deze heeft men de aarde willen aanzien als een ontzaglijk grooten magneet, wiens magnetische polen nabij de polen der aarde liggen en wiens neutrale lijn met den aequator samenvalt. Evenwel, als wij over de electrische stroomen handelen, zullen wij zien, dat wij eene andere verklaring kunnen geven van de richtende kracht, die de aarde op de magneetnaald uitoefent.

370. **Magnetische meridiaan, declinatie, veranderingen.** Wanneer eene magneetnaald in evenwicht ligt op eene vertikale as en horizontaal beweegbaar is, noemt men *magnetische me-*

ridiaan het vertikale vlak, dat door de beide polen van dezen magneet gaat, wanneer hij in rust gekomen is. Daar dit vlak echter in het algemeen niet samenvalt met den astronomischen of geographischen meridiaan, dat is het vlak, dat door de beide polen der aarde en door het middelpunt van de zon op den middag gaat, maken deze beide vlakken een hoek; men noemt dezen hoek *de declinatie*. In andere woorden: daar de magneetnaald zich niet juist naar het Noorden richt, noemt men declinatie het verschil van hare richting met die van het ware Noorden. Nu eens slaat de naald westelijk uit, dan eens oostelijk; in het eerste geval noemt men de declinatie *westelijk*, in het tweede *oostelijk*.

Op alle plaatsen is de declinatie niet dezelfde: in Europa en Afrika is zij westelijk, in Azië en Noord- en Zuid-Amerika is zij oostelijk. En ook op dezelfde plaats levert zij talrijke afwisselingen op. De veranderingen, die na eeuwen plaats grijpen, heeten *seculaire* veranderingen; deze veranderingen zijn langzaam en kunnen als regelmatig beschouwd worden; anderen zijn meer onregelmatig en worden *perturbatiën* of *storingen* genoemd; oorzaken hiervoor zijn onweer, vulkanische uitbarstingen en het noorderlicht.

371. **Declinatie-kompas.** De eigenschap, welke de magneten hebben om zich naar het noorden te richten, heeft eene belangrijke toepassing gevonden in het *declinatie-kompas*. Dit kleine instrument, nagenoeg op natuurlijke grootte voorgesteld in fig. 292, is samengesteld uit eene koperen of houten doos, op wier bodem eene windroos met 16 streken bevestigd is. Aan den omtrek vindt men een gegradueerden cirkel, waarvan het nulpunt zich bevindt op de lijn N S, welke juist de richting van Noord en Zuid aanwijst. Eindelijk bevindt zich midden in de doos een stalen stift, waarop de magneetnaald vrij drijft.

Kent men den astronomischen meridiaan van de plaats, dan is het gemakkelijk de declinatie door middel van dit kompas te vinden. Men behoeft daartoe slechts de lijn N S juist in de richting van den meridiaan der plaats te brengen, waar men zich bevindt. Het cijfer, waar de naald blijft stilstaan, wijst de declinatie aan. Wil men, zoo de declinatie bekend is, den astronomischen meridiaan vinden, dan draait men het kompas tot dat de naald met de lijn N S een hoek maakt,

even groot als het aantal graden van de declinatie bedraagt, en wel in dezelfde richting, dat wil zeggen, westelijk zoo deze

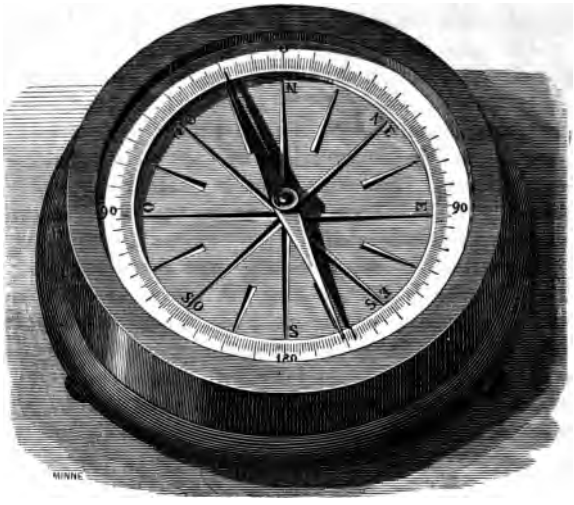


Fig. 292. Declinatie-kompas.

westelijk, en oostelijk zoo zij oostelijk is: de lijn N S wijst dan de richting van den astronomischen meridiaan aan.

Het gemak, waarmede het declinatie-kompas toelaat steeds een zelfde punt van den horizon terug te vinden, heeft het tot een instrument van onschatbare waarde voor zeereizen gemaakt. Het schijnt uitgevonden te zijn omstreeks de XIIe eeuw; vóór de uitvinding moest de zeevaart zich grootendeels tot kustvaart bepalen, want men kon die niet verlaten zonder gevaar van op zee te verdwalen. Maar nu geleid door de aanwijzingen van dit kompas, welke noch door de diepste duisternis noch door de hevigste stormen gewijzigd worden, kunnen de zeevarenden 's nachts even goed als over dag hun koers volgen. Alleen door zijne aanwijzingen was het dat men, de kusten durvende verlaten, Amerika ontdekt en reizen om de wereld gemaakt heeft.

Het declinatie-kompas wordt ook nog door mijnwerkers gebruikt om onder den grond hun de richting aan te wijzen in

welke zij voort moeten graven tot de ontginning van mijnen.

372. **Inclinatie-kompas.** Wanneer een stalen magneetnaald, rustende op eene vertikale stift, zoo als in fig. 291 voorgesteld wordt, zoodanig afgewerkt is, dat zij, *voor dat zij gemagnetiseerd is*, volkomen horizontaal drijft, merkt men op dat na de magnetiseering de noordpool onder het horizontale vlak duikt. Eerst meende men, dat het eene fout in de afwerking was, maar daar het verschijnsel telkens terugkwam, moest men het wel aan de richtende kracht zelve der aarde toeschrijven. Om nu de naald alle vrijheid te laten om aan deze kracht te gehoorzamen, maakte men de wijze van ophanging anders, en men bracht door de naald eene horizontale as, zoo als fig. 293 aantoont. De naald kan zich dan in een vertikaal vlak bewegen en den hoek, dien zij met den horizon maakt, leest men af op een in 90 graden verdeelden boog.

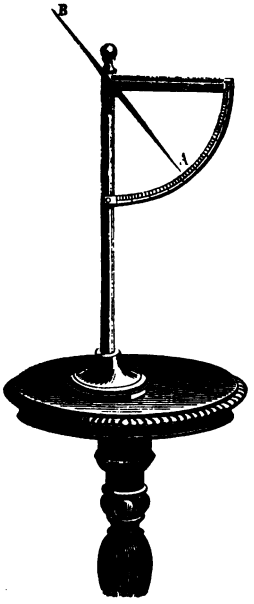


Fig. 293. Inclinatie-kompas.

Zoo ingericht, noemt men dit toestel een *inclinatie-kompas*, en men noemt *magnetische inclinatie* den hoek, welken de naald A B met den horizon maakt. Evenals de declinatie, verandert ook de inclinatie met den tijd. Te Parijs was zij in 1671 gelijk aan 75 graden: daarna nam zij steeds af en tegenwoordig is zij niet meer dan 66 graden. Daarenboven wisselt zij nog af met den afstand van de polen der aarde. In ons halfrond duikt de Noordpool onder den horizon en maakt met hem een te grooteren hoek naarmate men de Noordpool der aarde meer nadert. Nagenoeg op 15 graden afstand van dit punt is de inclinatie 90 graden, dat is te zeggen de naald staat vertikaal; verder neemt de inclinatie al meer en meer af naarmate men den *aequator* meer nadert. Op deze lijn of op dicht

daarbij gelegen punten is de inclinatie nul en de naald is daar horizontaal.

In het andere halfrond wordt de inclinatie weder merkbaar, maar nu duikt de Zuidpool onder den horizon, en zooveel te sterker naarmate men de Zuidpool der aarde meer nadert.

HOOFDSTUK III.

VERSCHILLENDE WIJZEN VAN MAGNETISEEREN.

373. **Magnetiseering door den magnetischen invloed der aarde.** Eene stof magnetiseeren is haar magnetische eigenschappen mededeelen, dat wil zeggen die van ijzer aan te trekken en zich naar het noorden te richten. De eenige stoffen, die blijvend magnetisch gemaakt kunnen worden, zijn: gehard staal en het ijzeroxyde waaruit de natuurlijke magneten bestaan. IJzer kan magnetisch worden òf door langdurigen invloed der aarde, òf wel door het wrijven met een magneet, òf eindelijk door de werking der electriciteit en in dit geval is het magnetisch worden oogenblikkelijk.

De ijzeroxyden, welke in den schoot der aarde magnetisch gevonden worden, zijn dit niet uit den aard der zaak: men vindt er ook, die volstrekt geene magnetische kracht vertoonen. Maar zij zijn geschikt om gemagnetiseerd te worden, en zijn zij het eens, dan behouden zij deze eigenschap, door de groote coërcitief-kracht, welke hun eigen is. De natuurlijke magneten zijn allen hun magnetisme verschuldigd aan de langzame werking van het aardmagnetisme, dat op den langen duur de twee magnetische vloeistoffen gescheiden heeft. Dit is ook het geval met de ijzeren ankers, die men in oude muren vindt, en die meest alle magnetisch zijn.

De magnetische werking der aarde is krachtig genoeg om rechtstreeks aangewend te worden als bron van magnetiseering. Men neemt eene ijzeren staaf en plaatst haar in den magnetischen meridiaan, terwijl men haar eenen hoek met den horizon doet maken gelijk aan den inclinatie-hoek. In dezen stand scheidt het aardmagnetisme de beide magnetische vloeistoffen van de staaf en richt naar het eene einde de Noorder-

vloeistof, naar het andere einde de Zuider-vloeistof. Echter nu is de magnetiseering niet blijvend, want zoo men de staaf uit haren stand brengt, hereenigen zich de beide vloeistoffen weer.

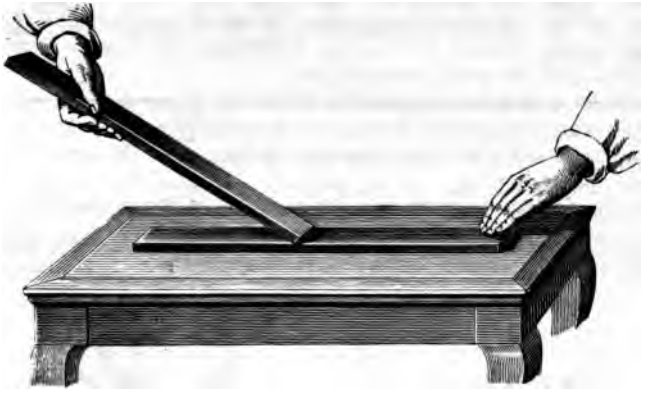


Fig. 294. Magnetiseering door enkele streek.

Dit heeft geene plaats, wanneer men, als de staaf weer in den stand van zoo even gebracht is, met een hamer op een der einden slaat, of, de beide einden met nijptangen vastknellende, haar wringt. De drukking of wringing geeft haar dan eene coërcitief-kracht, voldoende om ten minste gedurende eenigen tijd magnetisch te blijven. Als men eenige op deze wijze gemagnetiseerde staven bij elkander neemt, met de gelijknamige polen aan denzelfden kant, dan verkrijgt men een vrij krachtigen magneet.

374. **Magnetiseering door strijken.** Om stalen staven en kompasnaalden te magnetiseeren maakt men gewoonlijk gebruik van strijken en wel op drie wijzen, bekend onder den naam van *enkele streek*, *afzonderlijke streek* en *dubbele streek*.

Bij het magnetiseeren met de *enkele streek* houdt men met eene hand de staaf, die magnetisch moet worden, vast, strijkt met de pool van een sterken magneet over de staaf van het eene einde naar het andere en herhaalt deze bewerking eenige keeren in dezelfde richting (zie fig. 294). De staaf wordt dan magnetisch, doch zwak. Vele stalen voorwerpen, als messen, scharen, kan men zoo doende magnetisch maken,

en hoe meer deze voorwerpen gehard zijn, des te meer blijvend is het magnetisme.

De methode *der afzonderlijke streek* bestaat hierin, dat men de ongelijknamige polen van twee even sterke magneten op het midden van de te magnetiseeren staaf brengt en, ze rechtstandig en schuins houdende, gelijktijdig ieder naar een der einden van de staaf laat strijken.

Bij de magnetiseering met de *dubbele streek* maakt men ook gebruik van twee sterke magneten: maar in plaats van hen in tegenovergestelde richting van het midden naar de uiteinden te doen bewegen, als in de methode der afzonderlijke streek, brengt men ze met de ongelijknamige polen bij elkander; alleen worden zij door een stukje hout op eenigen afstand gehouden (zie fig. 295), en nu laat men hen samen glijden van

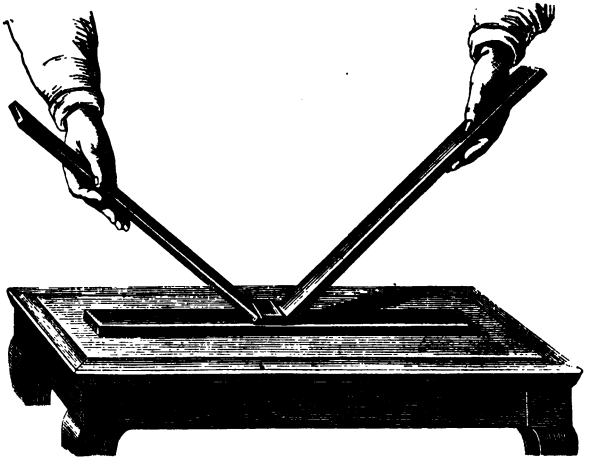


Fig. 295. Magnetiseering door dubbele streek.

het midden naar het eene uiteinde, van dit uiteinde weer naar het andere en zoo vervolgens meermalen, terwijl men zorg draagt weer in het midden, waar men begon, op te houden, zoodat iedere helft hetzelfde aantal streken ontvangt.

Wat de magnetiseering door de electriciteit aangaat, hierover zullen wij spreken bij de behandeling van de eigenschappen *der electrische* stroomen.

375. **Magneet-bundels of magazijnen, wapening van de magneten.** Een *magnetisch magazijn* noemt men eene vereeniging van magneetstaven, die evenwijdig aan elkander de gelijknamige polen naar denzelfden kant wenden. Nu eens zijn deze staven recht, als in de figuren 294 en 295 en dan heeft men een *rechtlijnigen bundel;* dan eens zijn zij in den vorm van een hoef-ijzer omgebogen en dan heeft men een *hoefvormigen bundel* of *hoefmagneet* (zie fig. 296).

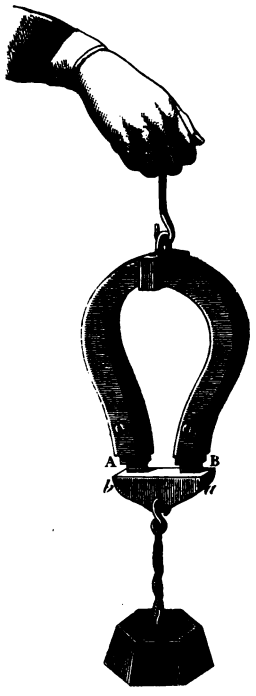


Fig. 296. Hoefmagneet.

De natuurlijke zoowel als de kunstmatige zouden spoedig in vermogen verminderen, indien zij aan zich zelf werden overgelaten, daarom worden zij *gewapend.* Onder *wapening* verstaat men een stuk week ijzer, dat men in aanraking brengt met de polen, als het stuk *a b* in fig. 296. De twee polen oefenen eene influentiewerking op dit stuk uit (zie § 367) en doen ontstaan in *a* een zuidpool en in *b* een noordpool. Nu werken weder deze twee polen op den magnetischen bundel terug en werken de hereening tegen en doen den bundel dus al zijn kracht behouden. Het stuk *b* wordt gewoonlijk *anker* genoemd; hieraan hangt men het gewicht, dat men wil dat door den magnetischen bundel zal gedragen worden, een gewicht dat boven de 100 kilogrammen kan gaan.

ACHTSTE BOEK.

ELECTRICITEIT.

HOOFDSTUK I.

GRONDSTELLINGEN.

376. **Ontdekking der electriciteit.** Reeds 600 jaren voor onze jaartelling was het aan Thales van Milete, een' der zeven wijzen van Griekenland, bekend, dat de barnsteen, wanneer hij met eene wollen lap gewreven wordt, de eigenschap verkrijgt van kleine ligchaampjes aan te trekken, zoo als kleine snippertjes papier, penneveertjes, stukjes goudblad, enz. De Grieken vergeleken dit verschijnsel met de inzuiging van de lucht door den mond, en zeiden dus, dat de barnsteen kleine ligchaampjes naar zich *toezoog*. Van wege de zeldzaamheid van den barnsteen, eene soort van voorwereldlijke hars, wier oorsprong langen tijd onbekend is gebleven, meenden zij, dat deze stof niets anders was dan de tranen van een Indischen vogel, die over den dood van koning Meleager treurde.

Zes eeuwen later was Plinius, de beroemde romeinsche natuuronderzoeker, nog weinig gevorderd in de kennis van deze eigenschap van den barnsteen. Hij schrijft: „Wanneer het wrijven met de vingers haar warmte en leven gegeven heeft, trekt deze stof kleine stukjes stroo aan, evenals de magneet het ijzer aantrekt." Daartoe bepalen zich de waarnemingen der ouden: eeuwen moesten er verloopen voordat er een nieuw feit aan het licht kwam. Eerst tegen het einde van de 16de eeuw vestigde William Gilbert, de hofarts van koningin Elizabeth van Engeland, op nieuw de aandacht op de aantrekking van den barnsteen: hij toonde aan, dat een groot aantal andere stoffen, zoo als het glas, harsen, zwavel, zijde, diamant, de eigenschap verkrijgen ligte voorwerpen aan te trekken, wanneer zij met eene wollen lap of een kattevel gewreven zijn.

Om deze proef te herhalen wrijft men eene glazen buis of

een stuk brievenlak met een stukje laken; wanneer men nu het gewreven voorwerp op korten afstand boven eenige snippertjes papier, stukjes goudblad of kleine penneveertjes houdt, worden deze daardoor aangetrokken (zie fig 297).

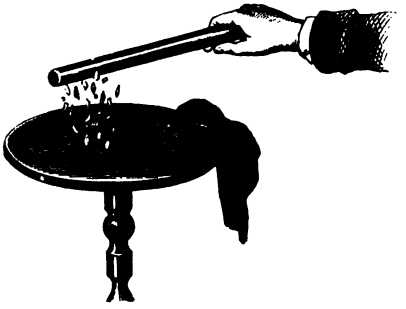


Fig. 297. Geëlectriseerde harsstang.

Men zag spoedig dat glas, hars en de overige hierbovengenoemde stoffen, als men ze wrijft, niet alleen de eigenschap verkrijgen om aantrekkend te werken, maar dat zij lichtgevend worden, dat zij vonken doen ontstaan, kortom dat zij tot eene menigte andere verschijnselen aanleiding geven, waarvan de oorzaak wordt aangeduid door den algemeenen naam van *electriciteit*, naar een Grieksch woord, dat *barnsteen* beteekent, omdat die verschijnselen het eerst bij deze stof zijn opgemerkt.

Zoo langzaam als de electrische ontdekkingen in de oudheid en in de middeleeuwen waren voortgegaan, zoo snel was haar voortgang in de 18de en 19de eeuw. Vooral in de laatste zeventig jaren zijn de nieuw ontdekte feiten zoo talrijk en zoo belangrijk, zijn de toepassingen daarvan zoo gewichtig en zoo verrassend, dat men niet ten onrechte de electriciteit vergeleken heeft bij eene gedienstige toovergodin, aan welke men slechts om wonderen te vragen had, om ze aanstonds verwezenlijkt te zien.

377. **Bronnen der electriciteit.** De oorzaken, waardoor electriciteit ontstaat, zijn talrijk, men kan ze verdeelen in mechanische, physische en chemische.

De *mechanische bronnen* zijn de wrijving, de drukking en de klieving. Bij voorbeeld, wanneer men een stukje suiker in het donker doorbreekt, ontwaart men een zwakken lichtglans, die het gevolg is van de electriciteit, welke op het oogenblik, dat de moleculen van elkander gescheiden worden, ontwikkeld wordt.

De *physische bronnen* zijn de veranderingen van temperatuur; men neemt dit waar bij sommige mineralen, vooral bij den tourmalijn en den topaas, die electrische verschijnselen vertoonen, wanneer men ze verwarmt of afkoelt.

Eindelijk, de *chemische bronnen* zijn de verbindingen en de ontledingen der ligchamen. Wanneer men bij voorbeeld een metaal, zoo als zink, ijzer of koper, in een zuur dompelt, wordt het metaal door het zuur aangetast en verbindt zich daarmede tot een zoogenoemd zout. Bij deze verbindingen nu wordt eene aanzienlijke hoeveelheid electriciteit ontwikkeld. Hetzelfde is het geval bij de chemische ontledingen, dat is bij de scheiding van de elementen der ligchamen.

De twee krachtigste bronnen van electrciteit zijn de wrijving en de chemische werkingen. Eerst zullen wij ons alleen bezig houden met de electriciteit, die op de eerste wijze ontstaat; later zullen wij de tweede bron bestuderen, welke de zoogenoemde *Voltasche electriciteit* oplevert.

378. **Electroscopen, electrische slinger.** Onder den algemeenen naam van *electroscopen* verstaat men toestellen, die geschikt zijn om aan te toonen, dat een ligchaam geëlectriseerd is. De eenvoudigste is de *electrische slinger*, die uit een klein bolletje van vlierpit bestaat, dat aan een draad is opgehangen, zoo als hieronder is afgebeeld; deze draad is aan een koperen stang bevestigd, die door een glazen voet gedragen wordt (zie fig. 298 en 299).

Om nu te zien of een ligchaam al of niet geëlectriseerd is, is het voldoende, het in de nabijheid van den electrischen slinger te houden; in het eerste geval is er aantrekking, in het tweede geval gebeurt er niets. Evenwel zou een ligchaam, dat slechts zeer zwak geëlectriseerd is, niet op den electrischen slinger werken; men moet dan zijne toevlucht nemen tot gevoeliger werktuigen, die later zullen beschreven worden onder den naam van *electrometers*.

379. **Proef, die twee soorten van electriciteit doet onderscheiden.** Wanneer men in de nabijheid van den electrischen slinger een stuk lak brengt, dat met laken gewreven is, dan wordt het bolletje eerst aangetroken, maar zoodra het de lakstang heeft aangeraakt, dadelijk afgestooten, zoo als in figuur 299 is afgebeeld. Wanneer men in plaats van eene lakstang *eene gewreven* glazen stang gebruikt, heeft er dezelfde aan-

trekking en daarna dezelfde afstooting plaats. Tot zooverre is er dus volkomen gelijkheid tusschen de electriciteit, die op het lak en die welke op het glas ontwikkeld is; maar wij zullen zien, dat deze electriciteiten verschillen. Inderdaad, wanneer de lakstang het balletje heeft aangeraakt en daarna

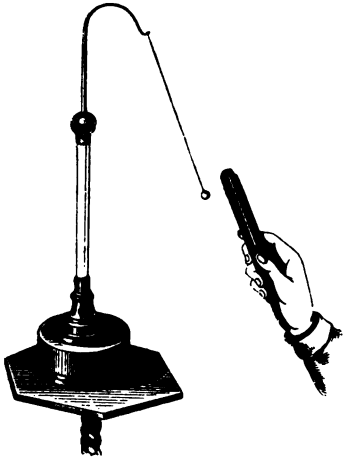


Fig. 298.

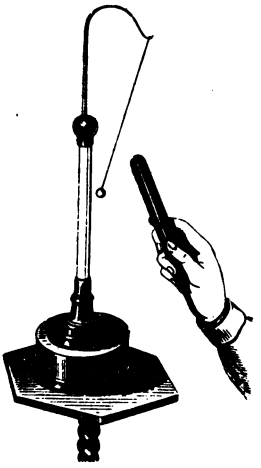


Fig. 299.

Electrische slinger.

afstoot, en men nadert nu met eene glazen stang, dan vliegt het balletje naar deze laatste toe; en evenzoo, wanneer het balletje het glas heeft aangeraakt en daarna weder afgestooten wordt, dan wordt het weder door het lak aangetrokken. De electriciteit van het glas is dus niet dezelfde als die van het lak, omdat ieder aantrekt hetgeen de ander afstoot en omgekeerd. De kennis dezer twee soorten van electriciteit, die door wrijving op het glas en op het lak ontstaan, is men het eerst verschuldigd aan Dufay, een franschen natuurkundige, in 1734. De eerste heeft den naam gekregen van *glas-electriciteit*, de tweede dien van *lak-* of *hars-electriciteit*.

380. **Hypothese van de twee electrische vloeistoffen.** In weerwil van de talrijke ontdekkingen, die op het gebied der electriciteit gedaan zijn, is de aard dezer physische kracht ten eenenmale *onbekend*. Men heeft evenwel, op grond van de

tegenovergestelde werkingen, die Dufay tot de ontdekking van twee verschillende electriciteiten leidden, de hypothese aangenomen van twee onzichtbare, zeer dunne vloeistoffen, die te gelijker tijd en in gelijke hoeveelheid in alle ligchamen aanwezig zijn, waar zij elkanders werking vernietigen en te zamen de zoogenoemde *neutrale vloeistof* uitmaken. Van deze kan men de aarde als eene onmetelijke verzamelplaats beschouwen. Zij heeft op zich zelve geen enkele bijzondere eigenschap, en de ligchamen, die haar bevatten, zijn *neutraal;* maar wanneer door de wrijving, door scheikundige werking, of door eenige andere oorzaak de neutrale vloeistof ontleed wordt, wanneer de twee vloeistoffen van elkander gescheiden worden, dan komen de electrische verschijnselen te voorschijn.

Aan deze twee vloeistoffen heeft men eerst de namen van *glas-* en van *hars-vloeistof* gegeven; maar deze benamingen zijn thans algemeen vervangen door die van *positieve* en *negatieve vloeistof*, welke uitdrukkingen het eerst door Franklin zijn voorgesteld en beter de tegenstelling uitdrukken die er tusschen haar bestaat. De positieve electriciteit wordt door het teeken +, de negatieve door het teeken — aangeduid.

De hypothese van de twee electrische vloeistoffen is afkomstig van Symner, een engelsch natuurkundige. Door die twee vloeistoffen te scheiden ontwikkelt de wrijving electriciteit. Waneer men bij voorbeeld eene glazen buis met wol wrijft, wordt de neutrale vloeistof van het wrijvende, alsmede die van het gewrevene ligchaam gescheiden, de positieve vloeistof begeeft zich naar het glas, de negatieve naar de wol. Wanneer men op dezelfde wijze eene lakstang wrijft, heeft het tegendeel plaats: de positieve vloeistof gaat naar de wol, en de negatieve naar het lak.

381. **Wetten der electrische aantrekkingen en afstootingen.** Deze aantrekkingen en afstootingen zijn aan de drie volgende wetten onderworpen:

1°. *Twee ligchamen met gelijknamige electriciteit geladen stooten elkander af, met ongelijknamige electriciteit geladen trekken zij elkander aan.*

2°. *De aantrekkingen en afstootingen zijn in omgekeerde reden van het vierkant van den afstand:* dat wil zeggen, dat zoo de afstand twee-, driemalen grooter is, de aan-

trekkingen en afstootingen vier-, negenmalen geringer zijn.

3°. *Bij gelijken afstand zijn de electrische aantrekkingen en afstootingen evenredig aan de hoeveelheid electriciteit;* dat wil zeggen dat een ligchaam twee-, driemalen meer vrije electriciteit bezittende, ook twee-, driemalen sterker aantrekt of afstoot.

De eerste wet vloeit voort uit de proef, die wij hierboven met den electrischen slinger namen. De proef toonde, dat het vlierpitten balletje door de gewrevene glasstang werd aangetrokken, maar dadelijk na de aanraking werd afgestooten, dat is, dadelijk nadat de slinger met gelijknamige electriciteit geladen was. Hetzelfde vindt plaats met de harsstang. Daar verder in dezelfde proef het door aanraking met het glas positief geëlectriseerde balletje door het lak werd aangetrokken en daar het, wanneer het door lak geelectriseerd was, door glas werd aangetrokken, besluiten wij hieruit, dat twee ligchamen, met tegengestelde electriciteiten geladen, elkander aantrekken.

De tweede en derde wet zijn door Coulomb, een fransch natuurkundige, overleden in 1806, bevestigd door middel van een werktuig dat bekend is onder den naam van *wringings-balans van Coulomb.* Dit werktuig, voorgesteld in fig. 300, bestaat uit een cilindrisch glas, met een glazen plaat A gedekt. Deze is in het midden doorboord en draagt een glazen buis *d*, die niet onbewegelijk aan de schijf A bevestigd is, maar vrij om de opening kan draaijen. Bovenaan deze buis vindt men een koperen gedeelte, dat uit twee stukken bestaat; het eerste *b* is bevestigd aan de buis, het andere *k* (zie fig. 301) past schuivend in *b*, zoodat men het door den knop *t* naar willekeur kan omdraaijen. Het stuk *k* draagt eenen in 360 graden verdeelden cirkel, welke met het stuk *k* mede omdraait. Aan het stuk *b* is een aanwijzer *a* verbonden, die aantoont hoeveel graden men den cirkel heeft omgedraaid. Onder dezen cirkel hangt een zeer dunne zilverdraad, waaraan een stang van gomlak hangt, die aan het eind een bolletje van klatergoud draagt. Eindelijk vindt men in de dekplaat A, dicht bij den rand nog eene opening, waarop een klein houten schijfje *r* past. Aan dit schijfje is eene glasstang *i* bevestigd, die een koperen bol-

letje *m* draagt. Een papieren reep is geplakt om den glazen cilinder en deze is ook in 360 graden verdeeld: het nul-

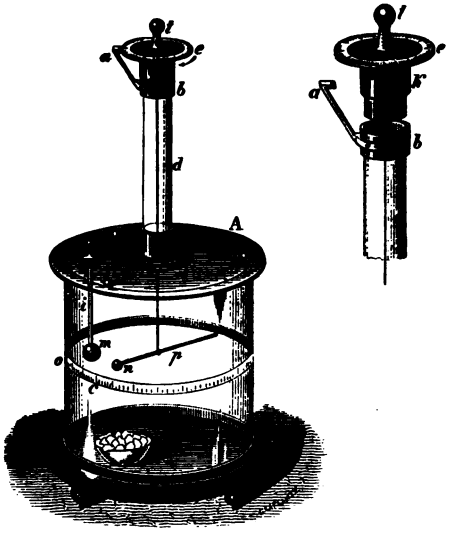


Fig. 300. Fig. 301.
Wringings-balans van Coulomb.

punt komt overeen met het middelpunt van het bolletje *m*.

Om met dit instrument te werken, draagt men eenige dagen te voren zorg, de lucht, die er in bevat is, goed te droogen. Men doet dit door een schaaltje met ongebluschte kalk in den cilinder te plaatsen, want deze trekt waterdamp gretig aan. Wil men nu aantoonen dat de electrische werkingen zijn in omgekeerde reden van het vierkant van den afstand, dan draait men eerst den cirkel *e* zoover, dat zijn nulpunt overeenkomt met den aanwijzer *a;* daarop doet men langzaam de buis *d* en het geheele gedeelte *b k* draaijen, zoolang tot dat de stang *p* overeenkomt met het nulpunt van de schaal op den cilinder, terwijl de zilverdraad nu zonder wringing is en de slang *k* in rust. Men neemt nu den bol *m* uit den cilinder en maakt hem electrisch, door hem *eenig geëlectriseerd* ligchaam te doen aanraken en brengt hem

oogenblikkelijk weer op zijne plaats. De schijf *n*, eerst aangetrokken wordt electrisch door de aanraking van den bol *m*, en wordt dadelijk afgestooten en blijft na eenige schommelingen op eenen afstand van bijv. 10 graden, want dan maakt de wringing van den draad evenwicht met de electrische afstooting. Een boog van 10 graden is nagenoeg gelijk aan zijne koorde, men kan daarom het getal 10 aannemen als afstand van *m* naar *n*. Draait men nu den cirkel *e*, als op de teekening, van links naar rechts, dan vindt men om den afstand van *m* tot *n* tot 5 graden te brengen, dat men den cirkel 35 graden moet omdraaijen. De draad is dus gewrongen bovenaan 35 graden en onderaan 5 graden, dus te zamen 40 graden, dat is viermaal zooveel als de eerste keer. Op den afstand 5 moet dus de afstooting viermaal grooter zijn, dan op den afstand 10. Dit bewijst de tweede wet.

Wil men de derde wet bewijzen, dan maakt men den bol *m* electrisch; deze stoot na de aanraking den bol van klatergoud af, bijv. 12 graden. Men neemt nu den bol *m* uit den cilinder en brengt hem met een koperen bol, die geïsoleerd is en geheel niet electrisch, en den zelfden diameter heeft, in aanraking. De electriciteit verdeelt zich nu gelijkelijk over de beide bollen, de bol *m* verliest de helft zijner electriciteit en brengt men hem weer in den cilinder dan is de afstooting, die zoo even 12 graden was, nu 6 graden. De electrische werking is dus op gelijken afstand evenredig aan de hoeveelheid electriciteit.

382. **Geleidende en niet-geleidende ligchamen.** Gray, een engelsch natuurkundige, die in 1720 overleed, was de eerste die opmerkte, dat geëlectriseerde ligchamen oogenblikkelijk tot den neutralen staat terugkeerden zoodra zij den grond aanraakten of wel met dezen in verbinding kwamen door eene metalen stang, door hout, steen of eene andere vochtige stof; maar dat deze zelfde ligchamen integendeel langen tijd hunne electriciteit behielden, wanneer zij op glas, zijde, hars of zwavel gelegd werden. Hij besloot hieruit, dat sommige ligchamen aan de electrische vloeistof een vrijen afvoer naar de aarde verleenen, die men dan het *gemeenschappelijk reservoir* noemt, terwijl anderen den afvoer verhinderen. De eerste ligchamen hebben den naam gekregen van *goede geleiders*, en de tweede dien van *niet-geleiders*, of liever van slechte geleiders.

ders, omdat er geen enkel ligchaam bestaat, dat de electriciteit in het geheel niet geleidt. Aan deze laatste geeft men ook wel den naam van *isoleerende ligchamen*, omdat men ze als standaards gebruikt, wanneer het er op aankomt om een geleidend ligchaam de electriciteit, die men er aan heeft medegedeeld, te doen behouden.

De beste geleiders voor de electrische vloeistof zijn de metalen; daarop volgen sommige metaalertsen, de cokes, oplossingen van zouten of zuren, het water, het menschelijk ligchaam, de planten en in het algemeen alle vochtige stoffen.

Slechte geleiders zijn de zwavel, harsen, gom, caoutchouc, gutta-percha, zijde, glas, edelgesteenten, terpentijnolie en anderé oliën, de lucht en de gassen wanneer zij droog zijn.

383. **Electriseering der geleidende ligchamen.** De isoleerende ligchamen kunnen alleen door wrijving geëlectriseerd worden, maar de geleidende ligchamen kunnen op drie wijzen electrisch worden: door wrijving, door aanraking en door invloed. Om evenwel een metaal door wrijving te electriseeren moet het geïsoleerd zijn, b. v. bevestigd aan eene glazen stang, en daarenboven moet het gewreven worden met een isoleerend ligchaam, zooals een stuk zijde of gewaste taf; zoo men hier niet voor zorgt, vloeit de door de wrijving ontwikkelde electriciteit terstond door den arm en het ligchaam van den waarnemer in den grond weg.

Wat het electriseeren door aanraking aangaat, deze is het gevolg van de geleiding. Wanneer een geleidend ligchaam, dat neutraal en geïsoleerd is, een geëlectriseerd geleidend ligchaam aanraakt, gaat een gedeelte der electriciteit terstond van dit laatste op het eerste over. Wanneer de beide ligchamen dezelfde gedaante en dezelfde oppervlakte hebben, b. v. twee bollen van gelijke middellijn, dan zal de vloeistof zich gelijkelijk over beide verdeelen; maar wanneer de ligchamen in vorm of grootte verschillen, zal de electriciteit zich ongelijk over beide uitbreiden.

De derde wijze van electriseering, door invloed, zal hieronder behandeld worden.

384. **Ophooping van de electrische vloeistof aan de oppervlakte der ligchamen.** Talrijke proefnemingen doen zien, dat, wanneer een ligchaam geëlectriseerd is, al de electrische vloeistof zich naar de oppervlakte begeeft, waar zij zich ophoopt

in een uiterst dun laagje: zij tracht onophoudelijk te ontsnappen, en doet dit ook wanneer zij door geen hinderpaal weerhouden wordt.

Onder de proeven, die de ophooping der electriciteit aan de oppervlakte der ligchamen aantoonen, zullen wij in de eerste plaats de volgende aanhalen, die van Coulomb afkomstig is. Men heeft een koperen bol, geïsoleerd op een glazen voet; om dezen bol passen nauwkeurig twee holle halve bollen, ook van koper, die ieder van een glazen steel voorzien zijn (fig. 302). Wanneer deze halve bollen om den bol ge-

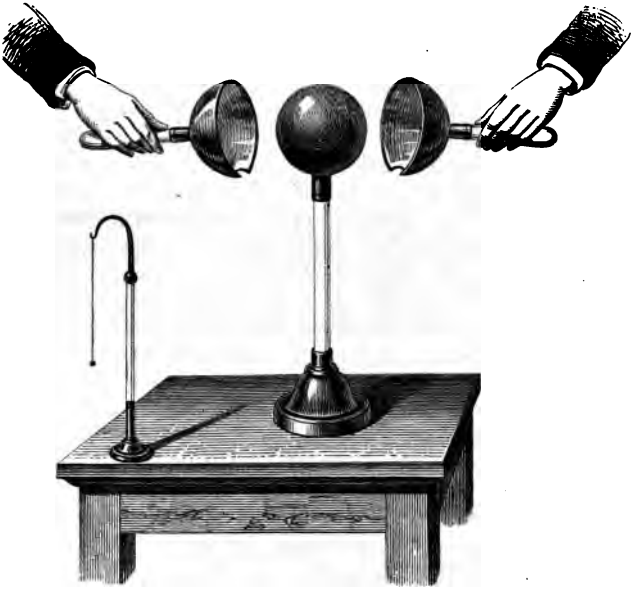


Fig. 302. Bol van Coulomb.

legd zijn, zoodat zij dien geheel bedekken, deelt men aan het geheele stelsel eene zekere hoeveelheid electriciteit mede, door het een oogenblik in aanraking te brengen met een geëlectriseerd ligchaam, bijv. met de electriseermachine (387). Als dit gedaan is, verwijdert men plotseling de twee halve bollen door ze in iedere hand aan den glazen steel vast

te houden, en men bemerkt dan door middel van den electrischen slinger, dat zij beide electrisch zijn, terwijl de bol, op dezelfde wijze bij den slinger gebracht, geen spoor van electriciteit vertoont. Men ziet dus, dat, wanneer men een geëlectriseerd ligchaam van zijne electriciteit berooft, men tevens al de vrije vloeistof, die het bevatte, weegneemt, en dat deze dus geheel aan de oppervlakte moet opgehoopt zijn.

Eene andere proef, die ook aantoont, dat de electriciteit zich alleen aan de oppervlakte der ligchamen bevindt, is deze, dat twee metalen bollen van gelijke middellijn, waarvan de een massief, de ander hol is, volkomen dezelfde hoeveelheid electriciteit opnemen, wanneer men hen met eene zelfde bron van electriciteit in aanraking brengt.

Aan de oppervlakte der ligchamen opgehoopt, tracht de electrische vloeistof altijd zich over de naburige voorwerpen te verspreiden met eene zekere kracht, waaraan men den naam van *spanning* geeft. Deze neemt toe met de hoeveelheid der electriciteit. Zoolang zij een zekere grens niet te boven gaat, wordt zij in evenwicht gehouden door den weerstand, dien de slechte geleiding der lucht aanbiedt, maar wanneer de spanning toeneemt, wordt die weerstand overwonnen en de electriciteit springt onder voortbrenging van geluid en licht in den vorm van eene schitterende vonk over. In vochtige lucht is de spanning altijd gering, omdat dan alle voorwerpen met een uiterst dun waterlaagje bedekt worden, en er dus geen volkomen isoleering mogelijk is.

385. **Invloed van den vorm der ligchamen op de ophooping der electriciteit; vermogen der punten.** De wet, volgens welke de electrische vloeistof zich over de oppervlakte van een geleidend ligchaam verbreidt, hangt af van den vorm van dit laatste. Wanneer het een bol is, is de ophooping overal dezelfde, hetgeen vooruit te verwachten was en dat bevestigd wordt door het *proefschijfje*. Dezen naam geeft men aan een klein dun metalen schijfje, dat bevestigd is aan het uiteinde van eene staaf gomlak, eene soort van hars, die zeer goed isoleert. Wanneer men dit staafje in de hand houdt, zooals in fig. 303 is afgebeeld, raakt men met het schijfje achtereenvolgens verschillende punten van het geëlectriseerde ligchaam aan, en na iedere aanraking brengt men het bij den electri-

schen slinger. Wanneer nu het ligchaam, dat men aangeraakt heeft, een metalen bol is, dan neemt men overal dezelfde aantrekking waar, hetgeen aantoont, dat het schijfje op ieder punt van den bol dezelfde electrische lading heeft opgenomen, en dat dus de electrische vloeistof gelijkmatig verdeeld is.

Anders is het gesteld wanneer het geëlectriseerd ligchaam, dat wij altijd van metaal veronderstellen, een meer of min verlengden vorm heeft, bij voorbeeld de gedaante van een ei,

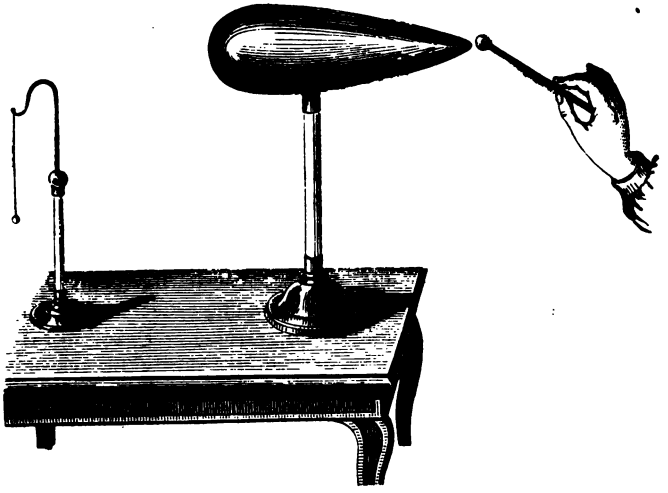


Fig. 303. Verdeeling der electriciteit aan de oppervlakte der ligchamen.

zooals in nevensgaande figuur. In dit geval neemt het proefschijfje meer electriciteit op naarmate men dichter komt bij het verlengde uiteinde, en aan dit uiteinde zelf verkrijgt men het meest electriciteit. Deze proef toont dus aan, dat op geleidende ligchamen de electriciteit zich altijd aan de verlengde uiteinden, aan de punten tracht op te hoopen. Uit deze ophooping nu volgt eene grootere spanning, die voldoende is om den weerstand der lucht te overwinnen en de electrische vloeistof te doen wegstroomen. Men merkt dan ook op dat metallische ligchamen, die met eene punt voorzien zijn zeer spoedig hunne electriciteit verliezen; en wanneer men de hand

boven dit punt houdt, voelt men een zacht geblaas van den kant der punt. Wanneer de uitstrooming in het duister plaats heeft, bespeurt men daarenboven een lichtglans boven de punt.

Deze eigenschap van de punten, die op geleidende geëlectriseerde ligchamen geplaatst zijn, om de electrische vloeistof te doen wegvloeijen, werd door Franklin aangeduid onder den naam van het *vermogen der punten;* hij maakte er eene toepassing van in de uitvinding der *bliksem-afleiders.*

HOOFDSTUK II.

ELECTRISEERING DOOR INVLOED, ELECTRISEERMACHINES.

386. **Invloed der geëlectriseerde ligchamen op ligchamen, die in den neutralen toestand zijn.** Wanneer een geleider in den neutralen toestand zich in de nabijheid van een geëlectriseerd ligchaam bevindt, dan werkt de vloeistof van dit laatste op een afstand op de vloeistof van het eerste ligchaam, zoodat die gescheiden wordt, en de gelijknamige vloeistof wordt afgestooten, de ongelijknamige aangetroken. Deze werking, die een gevolg is van de wederkeerige aantrekkingen en afstootingen der beide vloeistoffen (381), en die niet alleen op alle afstanden, maar ook door alle isoleerende ligchamen heen, zoo als de lucht, glas, hars, wordt uitgeoefend, is bekend onder den naam van *electriseering door invloed.*

Om deze aan te toonen richt men de proef in zooals in figuur 304 is voorgesteld. Ter rechterzijde van de teekening is eene electriseermachine, die, zoo als wij weldra zien zullen, met positieve vloeistof geladen is (387); aan de linkerzijde bevindt zich een geelkoperen cilinder, die op een glazen voet geïsoleerd en voorzien is van kleine slingertjes van vlierpit, die opgehangen zijn aan geleidende draden, bij voorbeeld hennipdraden. Wanneer men nu langzaam met den cilinder tot de electriseermachine nadert, ziet men de naastbij zijnde slingertjes elkander afstooten en uiteen wijken, maar niet alle in gelijke mate; aan de uiteinden is de afstooting het grootst. Omstreeks het midden blijven de slingertjes tegen elkander *aan* liggen zonder afstooting; en men besluit dus hieruit, *dat de* electriciteit zich naar de uiteinden begeeft en dat het

midden van den cilinder in neutralen toestand is. Wanneer men verder de slingertjes aan den kant van de electriseer-

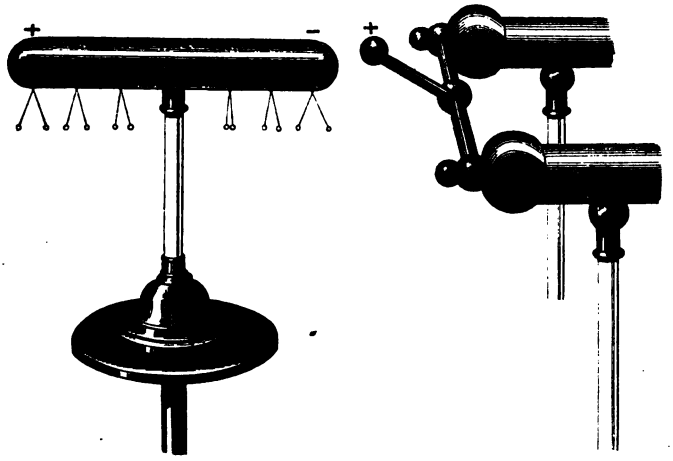


Fig. 304. Electriseering door invloed.

machine met eene gewreven harsstang nadert, merkt men op, dat zij afgestooten worden; hetgeen aantoont, dat zij met dezelfde electriciteit als de hars geladen zijn, dat is met negatieve electriciteit. Wanneer men evenzoo met een gewreven glastang het andere einde van den cilinder nadert, dan worden de slingertjes ook afgestooten; zij zijn hier dus met positieve electriciteit geladen. De tegengestelde electriciteiten, die alzoo aan de beide uiteinden van den cilinder zijn opgehoopt, zijn in even groote hoeveelheid voorhanden; want wanneer men de electriseermachine verwijdert, vallen de slingertjes samen, hetgeen aantoont, dat de twee vloeistoffen, die eerst van elkander gescheiden waren, zich weder tot neutrale vloeistof vereenigen.

De electriseering door invloed, die plaats grijpt bij ligchamen in neutralen toestand in de nabijheid eener bron van electriciteit, geeft de verklaring van eene menigte verschijnselen. Maar om er al de gevolgen van te overzien is het van belang te weten, wat er gebeurt wanneer men in de boven beschrevene proef den geïsoleerden cilinder, terwijl hij

aan den invloed der electriseermachine onderworpen is, met den grond in verbinding brengt. Veronderstellen wij daartoe, dat men met den vinger het positieve einde aanrake, dat wil zeggen. het van de electriseermachine afgewende einde; dan vloeit de positieve vloeistof van den cilinder in den grond weg, terwijl de negatieve teruggehouden wordt door de aantrekking van de tegengestelde electriciteit der machine. Wanneer men nu den cylinder verwijdert, ziet men dat de slingertjes uiteen blijven, en met eene harsstang overtuigt men zich gemakkelijk, dat zij alle negatief electrisch zijn. Maar wat zou er gebeurd zijn, wanneer men eerst met den vinger het negatieve einde had aangeraakt? Zou dan de negatieve vloeistof naar den grond zijn weggevloeid? Geenszins, al weder de positieve vloeistof; hetgeen zich gemakkelijk liet voorzien, omdat de negatieve vloeistof altijd vastgehouden wordt door de tegengestelde vloeistof der machine. Het is dus een algemeene regel, dat, wanneer een geïsoleerde geleider aan den invloed van eene bron van electriciteit wordt blootgesteld, „altijd *die* electriciteit, welke tegengesteld is aan die van de bron, op het ligchaam terugblijft, op welk punt men het ook aanrake."

TOESTELLEN OP DE ELECTRISEERING DOOR INVLOED GEGROND.

387. **Electriseermachine.** De *electriseermachine* is een toestel, dat dient om door wrijving eene aanzienlijke hoeveelheid electriciteit te ontwikkelen. Zij werd, omstreeks 200 jaar geleden, uitgevonden door Otto van Guericke, denzelfden die ook de luchtpomp heeft uitgevonden. In den beginne bestond zij eenvoudig uit een bol van zwavel, die aan eene houten as bevestigd was. Terwijl men dezen bol met de eene hand deed draaijen hield men de andere er tegen, en men verkreeg dus alleen electriciteit door de wrijving met de hand. Na verschillende verbeteringen te hebben ondergaan, nam de electriseermachine eindelijk den hieronder afgebeelden vorm aan, zooals zij tegenwoordig algemeen in gebruik is.

Het voornaamste deel dezer machine is eene glazen *schijf* PP, met eene middellijn van eene Nederlandsche el, of in krachtige machines nog grooter. Deze schijf is bevestigd op een *horizontale* as, die door middel van eene kruk rondgewordt. Deze as zelve wordt gedragen door twee hou-

ten stellen, waaraan vier *kussens* of *wrijvers* bevestigd zijn, twee van onderen en twee van boven. Deze kussens zijn van leer, met paardenhaar opgevuld, en het is hunne wrijving tegen het glas, die, wanneer er gedraaid wordt, dit laatste aan beide zijden electriseert. Eindelijk draagt hetzelfde voetstuk nog twee lange geelkoperen cilinders A A, die men den *conductor* noemt.

Deze beide cilinders zijn geïsoleerd op vier glazen stangen en onderling verbonden door eene geelkoperen stang aan de van de schijf afgewende uiteinden De uiteinden aan den kant van de schijf zijn voorzien van zoogenaamde *kammen*. Men geeft dezen naam aan vier koperen staven, die twee aan twee verbonden zijn, zoodat zij de tegenovergestelde zijden van eene zelfde horizontale middellijn omvatten Deze kammen zijn alzoo genoemd, omdat zij aan den kant van het glas met eene reeks van kleine punten voorzien zijn, die bestemd zijn om de electriciteit af te voeren, zooals wij hieronder zien zullen.

Laat ons nu, na deze beschrijving, nagaan op welke wijze de electriseermachine eene overvloedige ontwikkeling van positieve vloeistof oplevert. Wanneer men de schijf snel ronddraait, wordt deze door de wrijving positief electrisch en te gelijker tijd worden de kussens negatief electrisch. Terwijl nu de negatieve electriciteit van deze laatste door de houten stellen en de daaraan bevestigde reepen bladtin naar den grond afvloeit, blijft de positieve electricitieit, die niet weg kan, op het glas. Daar werkt zij door invloed op de kammen en den conductor, zij ontleedt de neutrale vloeistof, trekt de negatieve aan, die door de punten van de kammen wegvloeit en de positieve vloeistof van het glas neutraliseert. Terwijl alzoo de conductor zijne negatieve electriciteit verliest, wordt hij eene krachtige bron van positieve electriciteit als de schijf ronddraait.

Zooals zij hier beschreven is, levert de electriseermachine alleen positieve vloeistof; maar men kan ze ook zoodanig inrichten, dat zij de negatieve geeft. Daartoe isoleert men de vier pooten van de tafel op dikke platen van hars, glas of zwavel, en men brengt den conductor door middel van eene metalen ketting in verbinding met den grond. Deze voert dan de positieve electriciteit van den conductor af, terwijl de

negatieve van de kussens niet kan ontwijken en zich dus op het voetstuk en de houten stellen ophoopt.

388. **Maat van de lading der electriseermachine; oorzaken, die haar doen veranderen.** Om den graad van lading der electriseermachine te bepalen, bevestigt men er een toestelletje op,

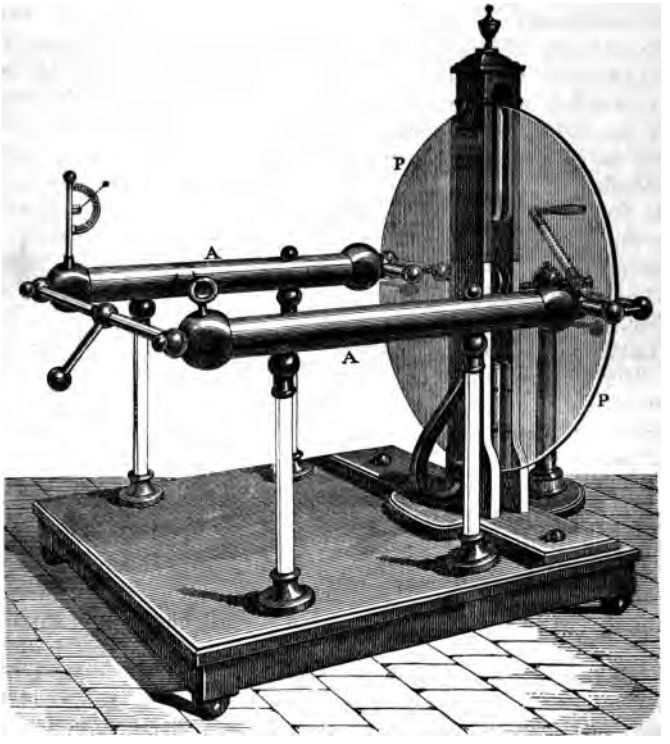


Fig. 305. Electriseermachine.

dat den naam draagt van *wijzer-electrometer*, of ook naar zijnen uitvinder dien van *electrometer van Henley*. Het is bovenop den conductor geplaatst (fig. 305), en bestaat uit een houten kolommetje, waaraan een halve cirkel van ivoor bevestigd is, *die in 180* graden verdeeld is. In het midden van dien halven

cirkel is eene horizontale as, waaraan een ligte naald van balein bevestigd is, die aan haar onderste uiteinde een vlierpitten balletje draagt. Naarmate de conductor nu geladen wordt, verspreidt de electriciteit zich over het houten kolommetje en de naald, en deze wijkt van haar oorspronkelijken vertikalen stand te meer af, naarmate de machine sterker geladen is.

Wanneer de conductor eens geëlectriseerd is ziet men, wanneer men de schijf niet meer ronddraait en de lucht droog is, dat de electrometer niet neervalt en slechts zeer langzaam begint te dalen, hetgeen aanduidt, dat de conductor bij eene drooge lucht slechts langzaam zijne electriciteit verliest. Bij vochtig weder daarentegen valt de electrometer bijna oogenblikkelijk neder, nadat men heeft opgehouden met draaijen. Dit komt daardoor, dat vochtige lucht op alle voorwerpen en vooral op glas een weinig water afzet; de glazen standaards, waarop de conductor rust, worden dus met een laagje van eene geleidende stof overdekt, en daardoor wordt de electriciteit zeer gemakkelijk afgevoerd. Vandaar komt het, dat bij vochtig of regenachtig weder alle proeven met de electriseermachine zeer moeijelijk gelukken. Men moet deze dan zorgvuldig droogen door ze van onderen te verwarmen, en de glazen pooten en de schijf moet men vooraf met warme doeken afvegen.

Men bevordert zeer de ontwikkeling van electriciteit bij de machine, door de kussens met *mussiefgoud* te bestrijken; dit is een geelachtig poeder, samengesteld uit zwavel en tin. Men gebruikt ook verschillende amalgama's van tin, zink en kwik, welke dezelfde werking uitoefenen als het mussiefgoud en zelfs nog sterkere, maar zij zijn niet zoo duurzaam.

Welke ook de middelen zijn, die men aanwendt om de ontwikkeling van electriciteit te bevorderen en om de oorzaken van verlies te vermijden, men moet niet gelooven, dat men, door maar altijd voort te gaan met de schijf te draaijen, op den conductor eene onbeperkte hoeveelheid electriciteit zou kunnen ophoopen. Deze neemt in den beginne snel toe, maar daar de spanning te gelijker tijd toeneemt, komt er spoedig een oogenblik waarop de neiging der electrische vloeistof om zich te verspreiden de overhand behaalt boven den weerstand van de lucht en de glazen pooten des conductors. Van dat oogenblik af gaat er evenveel electriciteit verloren als er door

de wrijving gewonnen wordt, en dien ten gevolge kan de spanning die grens niet te boven gaan. Dit wordt ook aangewezen door den electrometer, die dan niet meer van stand verandert, ofschoon men voortgaat de machine te draaijen.

Eindelijk, wanneer het er op aankomt om van eene electriseermachine al het effect te verkrijgen dat mogelijk is, moet men haar niet te dicht bij de muren of bij meubels plaatsen, in één woord, bij alle voorwerpen waarop zij door invloed zou kunnen werken, vooral wanneer deze voorwerpen hoekig zijn; omdat alsdan de machine daarvan de negatieve electriciteit tot

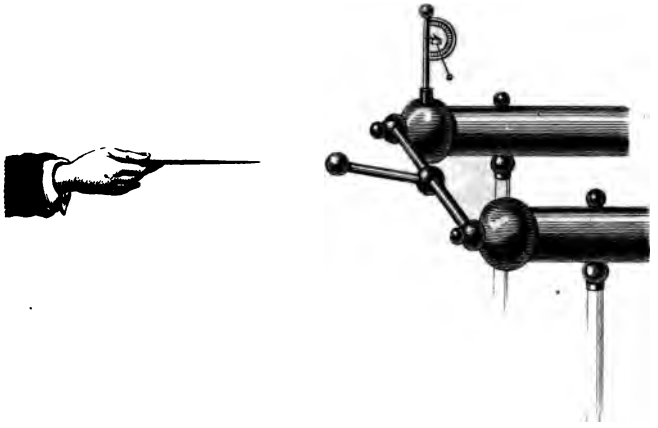


Fig. 306. Vermogen der punten.

zich trekt en alzoo weder den neutralen toestand tracht te naderen. Nadert men bij voorbeeld eene sterk geladene machine met eene metalen punt, zoo als in fig. 306 is aangetoond, dan ziet men, reeds wanneer de punt nog ver van den conductor verwijderd is, den electrometer neervallen. Dit laat zich verklaren door de negatieve electriciteit, die uit de punt uitvloeit en zich met de positieve electriciteit der machine vereenigt. Men zegt somtijds dat punten de electriciteit aantrekken; maar deze spreekwijze is onjuist, want de punten trekken niets tot zich, maar onder den invloed van een geëlectriseerd ligchaam staan zij aan dit eene electriciteit af, *die tegengesteld* is aan de hare, hetgeen op hetzelfde neerkomt.

389. **Electrophoor.** De *electrophoor (drager van electriciteit)* is een zeer eenvoudig werktuig, door Volta uitgevonden, waarmede men aanzienlijke hoeveelheden electriciteit kan verkrijgen. Het bestaat uit twee stukken: een harskoek, die bevestigd is op een houten plankje, en eene houten schijf met een glazen handvat, die over hare geheele oppervlakte met bladtin bedekt is. Om er electriciteit mede te verkrijgen begint men met den harshoek met een kattevel te slaan, zooals in figuur 307 is afgebeeld. Wanneer de hars alzoo negatief electrisch is geworden, legt men de schijf met het gla-

Fig. 307. Electrophoor.

zen handvat er op. De negatieve electriciteit werkt dan op deze door invloed, trekt aan de onderste oppervlakte van het tin de positieve vloeistof tot zich en stoot de negatieve weg naar de bovenste oppervlakte. Wanneer men er nu den vinger op legt, zooals in figuur 308 is aangetoond, vloeit de negatieve *electriciteit* in den grond weg en de met tin be-

plakte schijf behoudt slechts de positieve electriciteit. Wanneer men daarop met de eene hand het glazen handvat opligt en de schijf nu met de andere hand nadert (fig. 309), trekt men er eene groote vonk uit, het gevolg van de hereeniging der positieve vloeistof met de negatieve van de hand.

Wanneer men nu de schijf weder op den harskoek plaatst, oefent deze op nieuw dezelfde werking uit als zoo even, en wanneer men voortgaat te doen zooals in figuur 308 en 309 aangewezen is, kan men voortdurend vonken verkrijgen, zelfs maanden achtereen, mits de lucht droog is, zonder dat het noodig is de hars op nieuw met het kattenvel te slaan. Even-

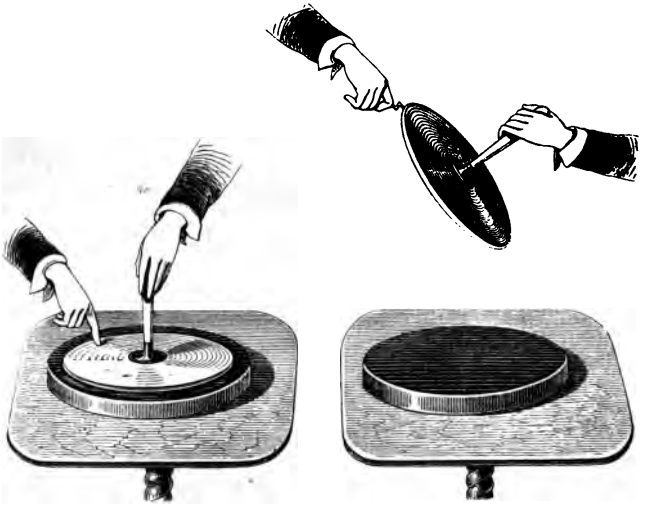


Fig. 308. Fig. 309.
Vonk uit den electrophoor getrokken.

wel moet men zorg dragen telkens de schijf met den vinger aan te raken (fig. 308) alvorens haar op te ligten; wanneer men dit verzuimde zou de schijf, hare negatieve electriciteit behoudende, weder tot den neutralen toestand terugkeeren zoodra men haar van den harskoek verwijderde.

390. **Goudblad-electrometer.** De *goudblad-electrometer*, naar den uitvinder ook wel electrometer van Bennet genoemd, is

een zeer gevoelig werktuig om te herkennen of een ligchaam geëlectriseerd is en met welke soort van electriciteit. Het werktuig bestaat uit eene glazen flesch, waarvan de hals met eene kurk gesloten is; in deze is een koperen stangetje bevestigd, dat van boven in een bol van hetzelfde metaal eindigt, en van onderen twee zeer ligte goudblaadjes draagt (fig. 310). De kurk, de hals en het bovenste gedeelte van de flesch zijn bedekt met een laagje vernis, dat in alkohol is opgelost en met een penseel over het glas is gestreken. Van dit middel maakt men veelvuldig gebruik bij electrische toestellen, om het glas volkomen isoleerend te maken. Op zich zelf toch geleidt het glas de electriciteit zeer slecht, maar het is eene zeer hygroskopische stof, dat wil zeggen dat het, gelijk wij boven reeds gezegd hebben, de vochtigheid uit de lucht aantrekt, waardoor zijne oppervlakte geleidend wordt. Met een vernis overdekt verliest het glas deze lastige eigenschap, omdat de vernissen, die alle uit hars bestaan, niet hygroskopisch zijn en nietgeleiders zijn voor de electriciteit.

Fig. 310. Goudblad-electrometer.

Het werktuig, dat wij zooeven beschreven hebben, stelt ons nu in staat om zeer gemakkelijk te zien of een ligchaam electrisch is, al is het ook in zeer geringe mate, en of die electriciteit positief of negatief is. Want zoodra men een ligchaam nadert, dat bij voorbeeld negatief electrisch is, zooals in de nevensgaande figuur is afgebeeld, werkt zijne electriciteit *door invloed* op den bol en den steel, trekt de po-

sitieve electriciteit in den bol aan en stoot de negatieve af naar het onderste einde van den steel. De twee goudblaadjes verkrijgen dus dezelfde electriciteit en daar zij zeer ligt en zeer bewegelijk zijn, gaan zij zelfs voor zeer geringe hoeveelheden electriciteit uiteen.

Wanneer men wil herkennen met welke soort van electriciteit het ligchaam geladen is, waarmede men den electrometer nadert, raakt men den bol aan, terwijl het ligchaam in de nabijheid is. Volgens hetgeen vroeger gezegd is, neemt men dan dezelfde electriciteit weg als in het ligchaam bevat is. Wanneer men daarna eerst den vinger en vervolgens het geëlectriseerde ligchaam terugtrekt, blijft het toestel met electriciteit geladen, want de goudblaadjes gaan uiteen, en deze electriciteit is tegengesteld aan die van het ligchaam, dat men onderzoekt. Daarop nadert men langzaam met een ligchaam, dat eene bekende electriciteit bezit, bij voorbeeld met eene glazen buis, die positief electrisch is; wanneer, bij het naderen van deze, de goudblaadjes nog meer uiteengaan, is dit een teeken, dat de electriciteit, die zich in het toestel bevindt, door die van het glas wordt afgestooten en dat zij dus positief is. Het ligchaam, dat men onderzocht, was dus negatief electrisch. Wanneer integendeel de afstooting der goudblaadjes vermindert bij het naderen met de glazen buis, duidt dit aan, dat hunne electriciteit negatief is, en dat in dit geval het onderzochte ligchaam positief electrisch was.

HOOFDSTUK III.

ELECTRISCHE VERMAKELIJKHEDEN.

391. **Electrische vonk.** In de vorige eeuw, toen de electrische verschijnselen nog al het bekoorlijke der nieuwheid bezaten, schiepen de natuurkundigen er vermaak in om onder verschillende vormen dezelfde verschijnselen voor het publiek te vertoonen. Franklin zelf, over wiens gewichtige ontdekkingen wij weldra zullen spreken, Franklin, die correspondeerend lid was van de Academie van Wetenschappen te Parijs, gezant aan het hof van Frankrijk, en lid van het opperste Uitvoerend Bewind te Philadelphia, schiep in deze electrische

aardigheden veel genoegen. In zijne brieven over de electriciteit schrijft hij: „Toen ik eene glazen buis uit Londen ontvangen had met eenige inlichtingen omtrent het gebruik, greep ik met vreugde de gelegenheid aan om de proeven te herhalen, die ik kort te voren te Boston had zien doen door Dr. Spence, die onlangs uit Schotland gekomen was. Door oefening verkreeg ik eene groote handigheid in het doen van deze proeven, terwijl ik van tijd tot tijd zelf nieuwe voegde bij diegene, waarvan het gerucht uit Engeland tot ons overkwam. Ik zeg door oefening, want in mijn huis ontbrak het nooit aan menschen, die de nieuwe wonderen wenschten te aanschouwen. Om mijne taak een weinig te verligten, liet ik verschillende glazen buizen maken, waarvan onze vrienden zich bedienden, zoodat wij op deze wijze verscheidene proefnemers hadden." Franklin was toen 43 jaar oud. „Het onderwerp,"

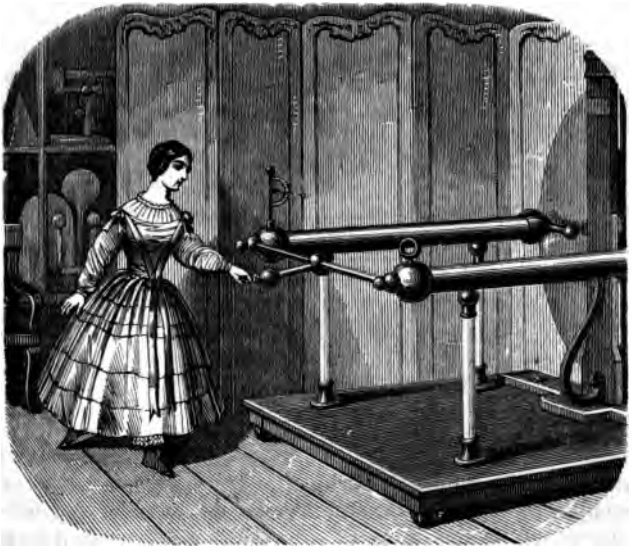


Fig. 311. Vonk uit de electriseermachine getrokken.

gaat hij voort, „was geheel en al nieuw voor mij," hetgeen voorzeker *niet weinig* bijdroeg om hem zulk een innig belang

in die studie te doen stellen, en hem er zulke snelle vorderingen in te doen maken.

Eene der eerste en aardigste proeven voor personen, die voor de eerste maal eene electriseermachine zien werken, is deze met de hand te naderen en er vonken uit te trekken, zoo als fig. 311 voorstelt, welke vonken een prikkelend of stekend gevoel teweeg brengen, dat te sterker is, naarmate de machine krachtiger werkt.

Deze vonken ontstaan door de vereeniging der twee tegengestelde vloeistoffen ten gevolge van eene electriseering door invloed. De positieve vloeistof toch van de machine werkt door invloed op de neutrale vloeistof van de hand, zoodat deze gescheiden wordt; de positieve wordt afgestooten naar den grond en de negatieve wordt aangetrokken. Wanneer nu de onderlinge aantrekking van de tegengestelde electriciteiten, van de machine en van de hand, de overhand verkrijgt boven

Fig. 312. Electrisch stoeltje.

den weerstand der lucht, springen de twee vloeistoffen over om zich met elkander te vereenigen, hetgeen met een eigenaardig geknetter en een fel licht gepaard gaat. Ziedaar, waarin de electrische vonk bestaat. Bij eene groote electriseermachine nemen de vonken den zigzag-vorm aan, evenals de bliksem in de onweerswolken.

392. **Electrisch stoeltje.** Vooral wanneer men vonken trekt uit het menschelijk ligchaam, levert zulks een aardig gezicht op. Daartoe moet een persoon, die op een stoeltje met isoleerende glazen pooten staat, de hand op den conductor der electriseermachine leggen (fig. 312). Daar nu het menschelijk ligchaam een goede geleider is voor de electriciteit, zoo wordt, wanneer men de schijf doet draaijen, de geïsoleerde persoon, evenals de conductor, met electriciteit geladen, zonder dat deze er iets anders van bemerkt dan dat zijne haren te berge rijzen en uiteen gaan staan. Dit is een gevolg van de afstooting, die de haren, met dezelfde electriciteit geladen, op elkander uitoefenen. Wanneer nu een tweede persoon de hand van den eersten aanraakt, trekt hij er dezelfde vonken uit als uit den conductor zelven.

393. **Electrisch klokkenspel.** Het *electrisch klokkenspel* is een speelwerk, dat men aan den gang brengt door electrische aantrekkingen en afstoötingen. Het bestaat uit drie metalen

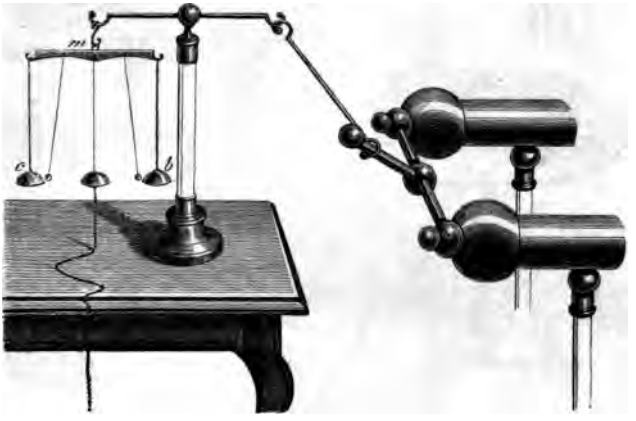


Fig. 313. Electrisch klokkenspel.

klokjes, welke aan eene horizontale koperen staaf zijn opgehangen, die men in verbinding stelt met de electriseermachine (fig. 313). De twee klokjes *b* en *c* zijn opgehangen aan metalen draden; maar het middelste hangt aan een zijden draad en is daarenboven door een keiting met den grond verbonden. Tusschen de blokjes bevinden zich twee koperen bolletjes, die opgehangen zijn aan isoleerende zijden draden. Wanneer nu de machine geladen wordt, deelt de electriciteit zich mede aan de klokjes *b* en *c*, welke daardoor de koperen bolletjes aantrekken. Zoodra deze de klokken hebben aangeraakt, worden zij afgestooten en slaan nu tegen het middelste klokje aan, waardoor zij de opgenomene electriciteit weder verliezen. Maar nu worden zij op nieuw aangetrokken en op nieuw afgestooten, en dit gaat voort zoolang men voortgaat met de electriseermachine te draaijen. Op deze wijze ontstaat het electrisch klokkenspel.

394. **Poppendans.** De *electrische poppendans* is, evenals

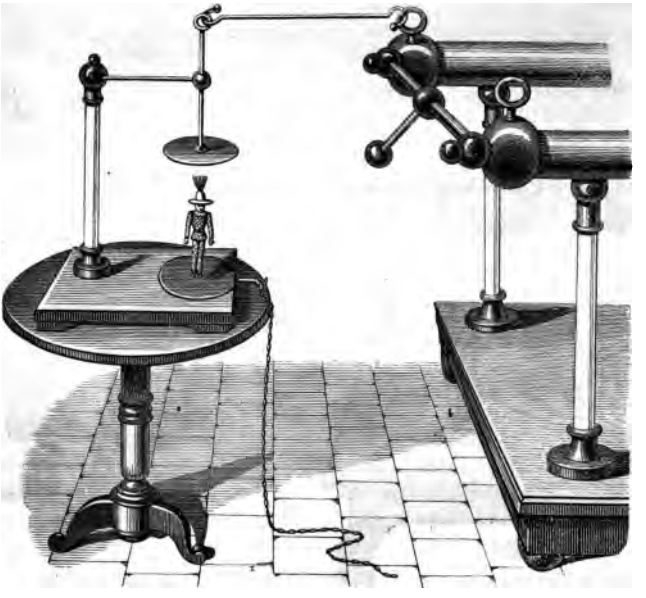


Fig. 314. Electrische poppendans.

het klokkenspel, eene toepassing van de aantrekking en afstooting der geëlectriseerde ligchamen. Deze proef bestaat daarin, dat men een zeer ligt poppetje van vlierpit tusschen twee metalen platen stelt, waarvan de eene door middel van een ketting met den grond, de andere met de electriseermachine verbonden is. Zoodra deze geladen wordt, ziet men, dat het poppetje beurtelings aangetrokken en afgestooten wordt alsof het uit zich zelf eene reeks van sprongen met groote vlugheid deed. Het is eene aardige proef, die de toeschouwers doorgaans zeer vermaakt.

395. **Het electrische rad of molen.** Het *electrische rad of molen* is een toestelletje, dat op het vermogen der punten berust (pag. 506). Het bestaat uit vier of vijf horizontale koperen armen, die allen in denzelfden zin zijn omgebogen en in eene punt eindigen; zij zijn alle aan eene zelfde tap bevestigd, die op een koperen standaard rust. Wanneer men dit toestelletje op den conductor plaatst en de machine laat werken, ziet men het rad ronddraaijen in de richting, die door het pijltje wordt aangeduid. Deze draaijende beweging is het gevolg van de uitstrooming der electriciteit uit de punten. Daar echter dit toestelletje alleen in de lucht werkt, en niet in het luchtledige, bewijst dit, dat men zijne beweging niet kan verklaren door eene reactie, overeenkomstig met die bij het hydraulisch reactiewerktuig (78), maar door eene afstooting tusschen de electriciteit der punten en de electriciteit, die deze bij het ontladen aan de omringende luchtdeeltjes mededeelen.

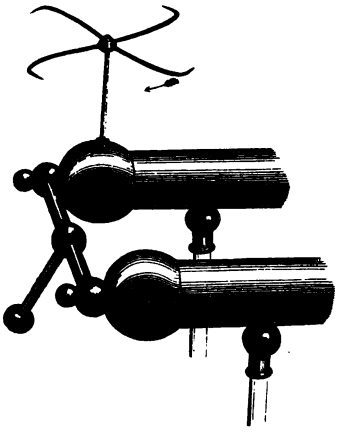


Fig 315. Het electrisch rad.

396. **Electrisch ei.** Het *electrisch ei* is eene proef met electrisch licht in het luchtledig; zij laat zich doen in eene ronde of langwerpige glazen klok, die met twee koperen knop-

pen voorzien is, waarvan de eene met de electriseermachine, de andere met den grond verbonden is. Eindelijk bevindt zich in den voet van het toestel eene kraan, waardoor de klok in verbinding kan gebracht worden met de luchtpomp. Wanneer men nu de klok luchtledig gemaakt heeft, stelt men het toestel zoo als in fig. 316 is afgebeeld, en men

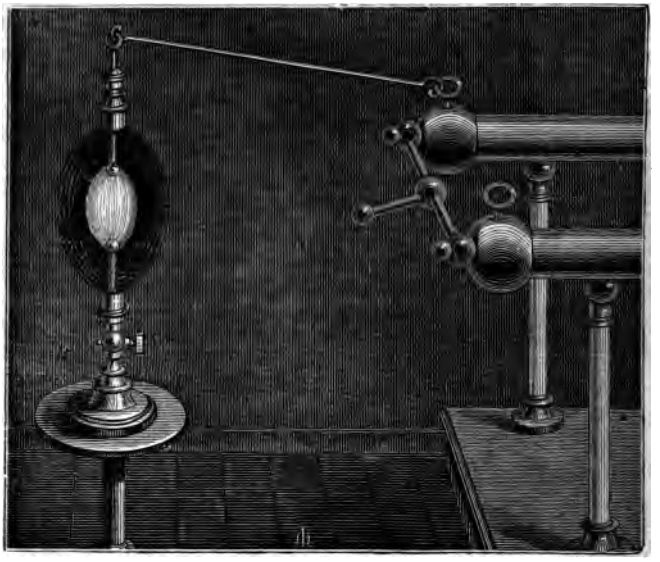


Fig. 316. Electrisch ei.

laat de electriseermachine werken. Wanneer de proef in het donker geschiedt, ziet men de geheele inwendige ruimte met een prachtigen violet-blauwen lichtglans gevuld, die zich van de eene knop tot de andere uitstrekt. Dit licht is het gevolg van de electriciteit, die van de machine afkomstig is, en, nu niet door den weerstand der lucht weerhouden, naar den grond wegvloeit.

397. **Flikkerplaat.** De *flikkerplaat* bestaat uit eene glasruit, die aan eene zijde ten deele bedekt is met een langen reep bladtin, welke herhaalde malen omgevouwen is, zoodat *hij eene* reeks van evenwijdige en zeer nabij elkander staande

metalen strepen vormt. De ruit wordt vertikaal geplaatst tusschen twee glazen standaards; het boveneinde van het tin wordt in verbinding gebracht met den conductor der electriseermachine, het ondereinde door middel van een metalen ketting met den grond. Wanneer men dan de machine laat draaijen, zal de electriciteit door het tin wegvloeijen zonder vonken te geven. Maar wanneer men te voren met een mes insnijdingen in het tin maakt, zoodat de continuïteit telkens afgebroken wordt, zal er zich eene vonk achtereenvolgens bij

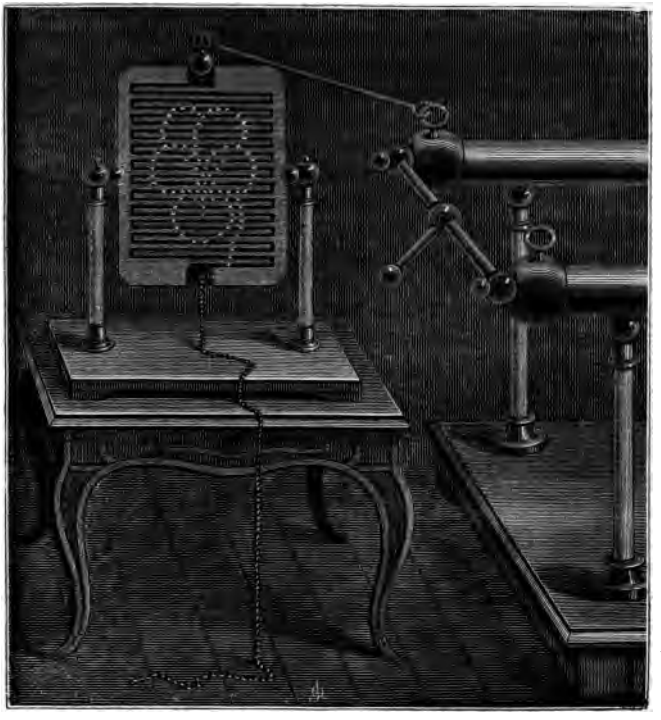


Fig. 317. Flikkerplaat.

elke dier insnijdingen vertoonen. Wanneer men die afbrekingen zoodanig maakt, dat zij eene bepaalde gedaante hebben, bij

voorbeeld die van eene bloem, van een monument, van woorden, ziet men deze voorwerpen door vuur afgeteekend, zoolang de machine werkt (fig. 317). Deze proef is een gevolg van de ontzettende snelheid, waarmede de electrische vloeistof zich voortplant, eene snelheid, die 170,000,000 ellen in de seconde bedraagt. Ofschoon dus in werkelijkheid de vonken alle achter elkander plaats grijpen, schijnen zij alle te gelijk te ontstaan.

398. **Flikkerbol en flikkerbuis.** De *flikkerbol* is een glazen bol waarvan de binnenwand beplakt is met ruitsgewijze ge-

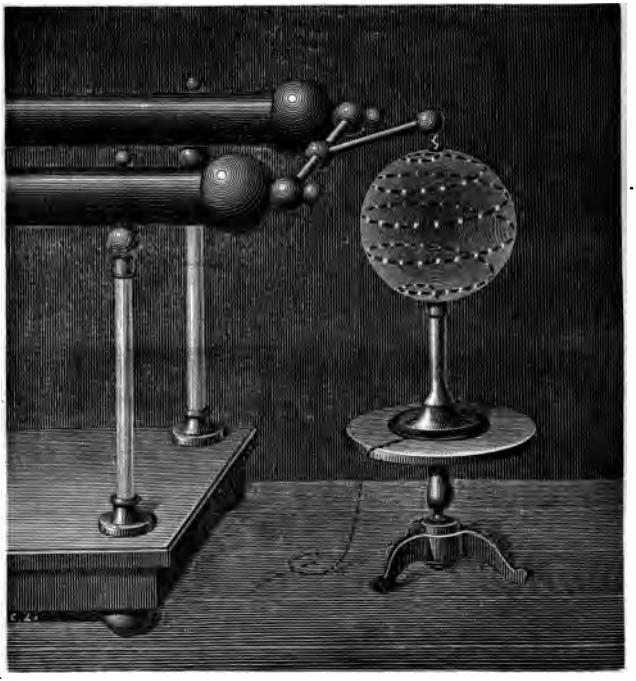


Fig. 318. Flikkerbol.

sneden metalen plaatjes, die elkander niet raken maar zeer *nabij* elkander gelegen zijn. Het eerste plaatje heeft gemeen-

schap met eene electriseermachine die in werking is, het laatste met de aarde.

Evenals bij de flikkerplaat (fig. 317) zien wij hier in fig. 318 bij het telkens afbreken der continuïteit eene reeks van schitterende vonken.

Indien men de metalen plaatjes spiraalsgewijze in een glazen buis plakt, heeft men de zoogenaamde *flikkerbuis*.

399. **Pistool van Volta.** Het *pistool van Volta* is niet alleen eene electrische vermakelijkheid, het is ook eene proef, die uit een wetenschappelijk oogpunt van belang is; zij toont namelijk aan, dat de electrische vonk ook scheikundige werkingen kan doen ontstaan. Het water bij voorbeeld is samengesteld uit twee gassen, waterstof en zuurstof, in de verhou-

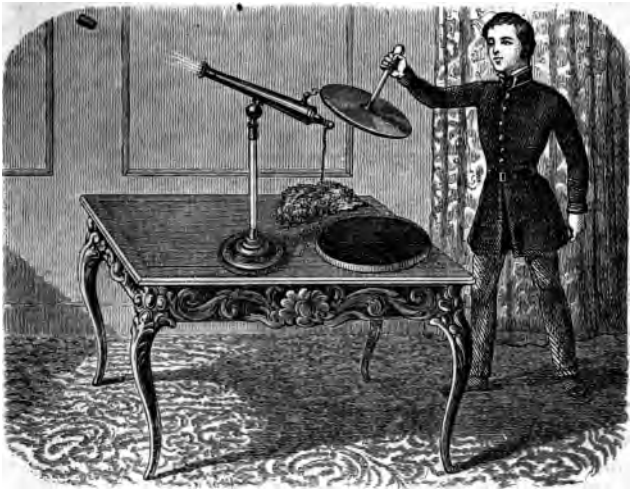


Fig. 319. Pistool van Volta.

ding van twee maten van het eerste tegen ééne maat van het laatste. Wanneer men nu die twee gassen in de opgegeve verhouding bijeen brengt en men in het mengsel eene electrische vonk laat opspringen, verbinden de twee gassen zich oogenblikkelijk tot water. Deze verbinding gaat daarenboven met eene hevige ontploffing gepaard, die het gevolg

is van de groote spankracht van den waterdamp bij de hooge temperatuur, die op het oogenblik der verbinding ontstaat.

Op deze eigenschap, dat mengsels van gassen door de electrische vonk kunnen ontploffen, berust het pistool van Volta, afgebeeld in fig. 319. Het is een klein koperen pistool, dat op een glazen voetje geïsoleerd is. In het lontgat is een glazen buisje bevestigd en hierin een koperen stangetje, dat op zeer korten afstand van den inwendigen wand van het pistool eindigt en van buiten een koperen bol draagt. Wanneer men nu een mengsel van twee maten waterstof en één maat zuurstof in het pistool gebracht heeft, sluit men het met eene kurk en brengt het door middel van een metalen ketting met den grond in verbinding. Hierop brengt men den electrophoor nader, de vonk springt over op den koperen bol en te gelijker tijd in het inwendige van het pistool. Het is deze inwendige vonk, die de verbinding der beide gassen onder eene hevige ontploffing tot stand brengt, waardoor de kurk met kracht wordt voortgeworpen.

HOOFDSTUK IV.

CONDENSATIE DER ELECTRICITEIT.

400. **Electrische condensators.** Door *condensators* verstaat men werktuigen, die dienen om de electrische vloeistoffen op te hoopen. Zij kunnen over het algemeen een zeer verschillenden vorm hebben, maar allen komen daarin overeen, dat zij bestaan uit twee geleidende ligchamen, gescheiden door eene isoleerende stof. De theorie van deze werktuigen berust op de electriseering door invloed en wordt gewoonlijk aangetoond met den *condensator van Aepinus*, alzoo genoemd naar den uitvinder, een natuurkundige te Petersburg, die in 1802 in Livonië overleed.

Dit werktuig bestaat uit twee metaalplaten A en B, die op glazen voeten geïsoleerd zijn (fig. 320); tusschen in bevindt zich eene gewone glasruit, wier middellijn ongeveer 10 duimen grooter is dan die van de twee metaalplaten. De voet van de glasruit is vast, maar de voeten der metaalplaten laten zich langs eene koperen liniaal verschuiven, zoodat zij zoo-

zeer tot elkander kunnen naderen, dat zij het glas aanraken. Wanneer nu de metaalplaten met het glas in aanraking

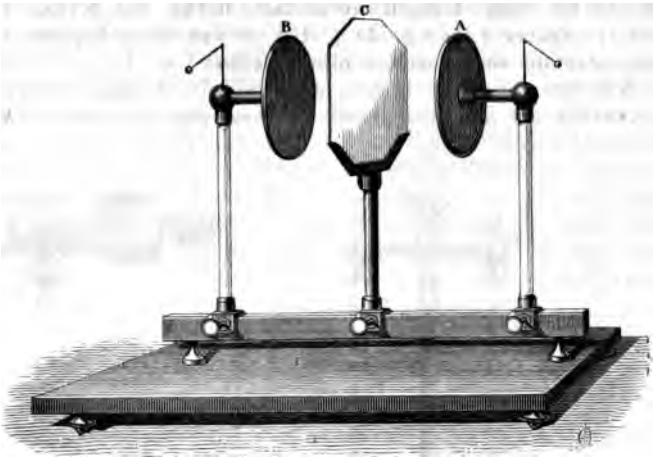


Fig. 320. Condensator van Aepinus.

worden gebracht, zoo als in fig. 321 is afgebeeld, brengt men eene van haar in verbinding met de electriseermachine, en de andere door middel van een metalen ketting met den grond. Wordt nu de machine gedraaid, dan wordt de plaat B positief electrisch en wanneer zij alleen was zou zij evenveel electriciteit opnemen als de conductor der machine; maar de tegenwoordigheid van de plaat A wijzigt geheel en al die verdeeling der electriciteit en is oorzaak, dat er in B veel meer wordt opgehoopt. Want de positieve vloeistof van de plaat B, door het glas heen door invloed op A werkende, stoot de gelijknamige vloeistof naar den grond af en trekt de negatieve aan. Deze laatste, in A aangetrokken, werkt nu op hare beurt door invloed op de tegengestelde van de plaat B en neutraliseert die, ofschoon niet geheel, uit hoofde van den afstand, waarop zij zich van elkander bevinden. Daar dus de electriciteit van B voor het grootste deel geneutraliseerd is, maakt hare spanning geen evenwicht meer met de spanning op *den conductor*, en daardoor vloeit er van dezen laatsten

een nieuwe hoeveelheid positieve vloeistof naar de plaat B, die, evenals den eersten keer door invloed werkende, eene nieuwe hoeveelheid negatieve in A aantrekt. Het gevolg hiervan is, dat er op de beide platen eene groote ophooping van tegengestelde electriciteiten plaats grijpt.

Wanneer het toestel sterk geladen is verbreekt men eerst de verbinding met den grond en vervolgens die met de ma-

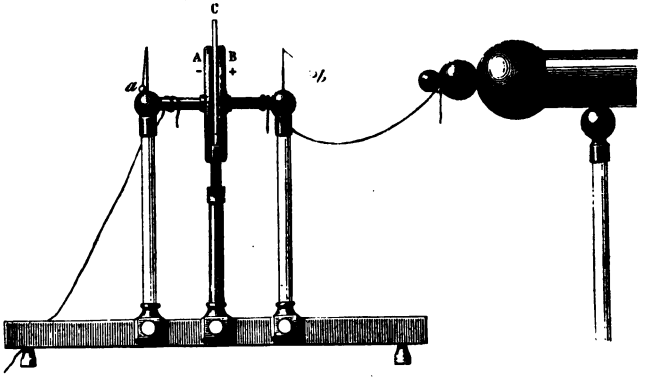


Fig. 321. Lading van den condensator.

chine, door de beide metalen kettingen weg te nemen. In dezen toestand bevinden de beide electriciteiten zich tegenover elkander in A en in B, zonder dat zij zich kunnen vereenigen, en zonder dat zij eenig electrisch verschijnsel vertoonen, omdat hare tegenstelde werkingen elkander in evenwicht houden of elkander neutraliseeren, hetgeen men uitdrukt door te zeggen, dat zij *gebonden* zijn. De binding is evenwel niet volkomen, want de plaat B, die met de electriseermachine in verbinding is geweest, bevat altijd eene kleine overmaat van vrije electriciteit, zooals de afstooting van het slingertje *b* aantoont. Een dergelijke slinger, op den voet van de andere plaat bevestigd, vertoont geen spoor van electriciteit, althans zoo lang als de metalen platen in aanraking zijn met de glasruit; maar wanneer men ze verwijdert, zoo als in figuur 320, *ziet* men de slingers afwijken, omdat nu de twee electriciteiten 'kander niet meer neutraliseeren. Wanneer de platen alzoo

van elkander verwijderd zijn, is het gemakkelijk aan te toonen, dat de eene positief, de andere negatief electrisch is. Want eene gewrevene glasstang stoot het slingertje in B af, dat dus dezelfde electriciteit bezit als het glas, en trekt het slingertje in A aan, dat derhalve negatief electrisch is.

401. **Langzame en plotselinge ontlading van den condensator; ontlaadtang.** Wanneer de condensator geladen en geplaatst is zooals in figuur 321, en men de kettingen verwijderd heeft, kan men hem *ontladen*, dat is, tot den neutralen staat terug brengen, hetzij door opeenvolgende aanrakingen, hetzij door de twee platen door middel van een geleidend ligchaam met elkander in verbinding te brengen. In het eerste geval heeft eene *langzame*, in het tweede geval eene *plotselinge* ontlading plaats.

Wanneer men eerst de plaat A aanraakte, zou men er volstrekt geen electriciteit aan ontnemen, omdat al de electriciteit, die er zich op bevindt, geneutraliseerd wordt door de tegengestelde in B. Maar anders is het geval, wanneer men deze laatste aanraakt; men ontneemt dan aan deze al de vrije electriciteit, dat is al de electriciteit, die niet door de plaat A gebonden wordt, en het is nu op A dat zich eene zekere hoeveelheid niet geneutraliseerde electriciteit bevindt. Men ziet het aan de slingertjes, wanneer *b* neervalt, begint *a* af te wijken. Wanneer men zoo voortging met beurtelings de beide platen aan te raken, zou men eindelijk den condensator geheel ontladen; maar bij droog weder zouden daartoe eenige uren vereischt worden.

Om eene plotselinge ontlading te verkrijgen zou het voldoende zijn de eene hand op eene der platen te leggen en de andere met de andere hand aan te raken; maar men zou dan een hevigen schok gevoelen, niet te vergelijken bij dien van de electrische vonk. Men kan dezen schok vermijden door middel van de *ontlaadtang*. Dezen naam geeft men aan een metalen boog, aan zijne beide uiteinden met kleine koperen bollen en in het midden met een scharnier voorzien, waarom de beide deelen van den boog beweegbaar zijn. Wanneer men dezen boog in de hand houdt, zooals in fig. 323 hieronder is afgebeeld, raakt men met een der bollen de eene plaat van den condensator aan, en men draait den boog om het scharnier totdat de tweede bol de andere plaat aanraakt. *Op het oogenblik* dat deze bol haar bijna heeft

aangeraakt, springt er eene krachtige vonk over, ten gevolge van de vereeniging der tegengestelde electriciteiten die op den condensator opgehoopt waren, maar men gevoelt hierbij volstrekt geen schok, daar de vereeniging nu niet plaats heeft door de armen en het ligchaam van den waarnemer, maar door den metalen boog, die de beste geleiding aanbiedt.

402. **Grenslading van den condensator.** Twee oorzaken zijn er, die de hoeveelheid electriciteit, welke zich op den condensator kan ophoopen, beperken. De eerste is, dat de niet geneutraliseerde electriciteit op de condensatieplaat B (fig. 301) vermeerdert met de electrische spanning en er dus een oogenblik komt, dat de spanning op de plaat even groot is als die op de machine, en van dat oogenblik af kan deze laatste geen electriciteit meer aan de plaat afgeven. De tweede oorzaak is daarin gelegen, dat het streven der beide tegengestelde electriciteiten tot vereeniging toeneemt met de ophooping op de metalen platen, totdat dit streven de overhand verkrijgt over den weerstand van de glazen plaat; deze wordt dan doorboord en de twee vloeistoffen vereenigen zich.

403. **Leidsche flesch.** De *Leidsche flesch*, aldus genoemd naar de plaats harer uitvinding, is een condensator, die alleen in vorm van de zoo even beschrevenen verschilt. Zij werd in 1746 bij toeval uitgevonden door Musschenbroek, een nederlandschen natuurkundige. Toen hij eens het water in eene flesch wilde electriseeren en daartoe door de kurk heen eene metalen stang gestoken had, bracht hij deze in aanraking met de electriseermachine. Naarmate nu de vloeistof electriciteit opnam, werkte deze door invloed op de hand van den proefnemer en trok daarin de tegengestelde electriciteit aan. Aan de inwendige en aan de uitwendige oppervlakte der flesch hoopte zich dus de electriciteit op, en toen Musschenbroek, de flesch nog altijd in de eene hand houdende, de koperen stang met de andere hand aanraakte, kreeg hij zulk een schok in zijne armen en zijne borst, dat hij na verloop van twee dagen nog nauwelijks bekomen was van de gevolgen van den schok, en aan den natuurkundige Réaumur te Parijs schreef hij, dat hij de proef niet zou willen herhalen, zelfs al kreeg [illegible] heel Frankrijk tot belooning.

[illegible]ar het door Musschenbroek ontdekte feit maakte te veel

opgang om geen groot aantal navolgers te vinden. In weerwil van de afschrikkende verhalen wilde ieder den schok voelen, en schoon men de theorie van de flesch van Musschenbroek of van de Leidsche flesch, zoo als men haar noemde, nog niet kende, zoo kwam men toch spoedig tot die inrichting, waarbij de grootste werking verkregen wordt. De Engelschman Bevis beplakte de flesch van buiten met bladtin, en Nollet, hoogleeraar in physica te Parijs, verving het water door dunne metaalblaadjes, die de flesch van binnen vulden. Van toen af had de Leidsche flesch den vorm, dien men er nog heden ten dage aan geeft en die afgebeeld is in figuur 322; het is eene flesch van dun glas, gevuld met bladgoud of met koper of ijzervijlsel, dat men er los in legt zonder het samen te drukken, om eene zoo groot mogelijke oppervlakte te verkrijgen. De uitwendige wand is met bladtin beplakt, dat ook den bodem bedekt, maar op een aanmerkelijken afstand van den hals verwijderd blijft. Deze is met eene kurk gesloten, waardoor een koperen stang gaat, die uitwendig omgebogen is en in eene knop eindigt; inwendig is deze stang in aan-

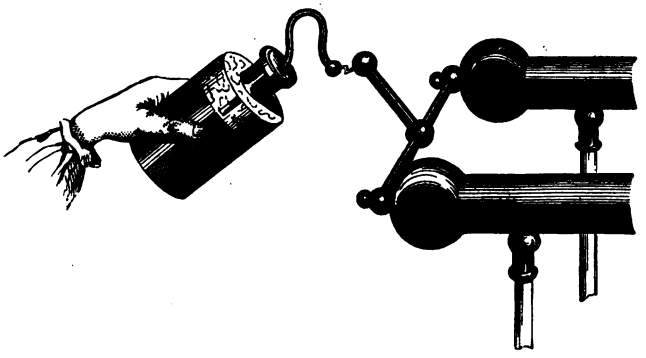


Fig. 322. Lading der Leidsche flesch.

raking met de metalen stoffen, die de flesch aanvullen. Men ziet dus, dat dit toestel een ware condensator is, waarvan de isoleerende plaat het glas is van de flesch, en waarvan de twee metaalplaten vervangen zijn door het uitwendige bladtin *en door het* inwendige goudblad of metaalvijlsel.

Gewoonlijk geeft men aan de koperen stang en het goudblad den naam van *binnenbekleedsel*, en aan het bladtin den naam van *buitenbekleedsel*. Om nu de flesch te laden houdt men haar in de hand, zoo als in figuur 322 is afgebeeld, en men nadert met den metalen knop tot eene electriseermachine, die in werking is. De positieve vloeistof van deze deelt zich dan mede aan de flesch, werkt door invloed op het bladtin en op de hand, zoodat eene groote hoeveelheid negatieve vloeistof wordt aangetrokken. Wanneer de flesch eenmaal geladen is, kan men haar gerust bij het buitenbekleedsel aanvatten; maar men kan niet te gelijker tijd den knop aanraken, zonder een hevigen schok te krijgen, ten gevolge van de vereeniging der beide tegengestelde electriciteiten door de armen en het ligchaam.

Fig. 323. Ontlading der Leidsche flesch.

Daarom maakt men, bij het ontladen eener Leidsche flesch, altijd gebruik van de ontlaadtang, zorg dragende, dat deze altijd eerst met het buitenbekleedsel in aanraking komt, dat met de hand of met den grond in verbinding was (fig. 323); anders zou men den schok gevoelen. Wanneer de flesch geïsoleerd was op eene schijf van glas of hars, zou het geen verschil maken of men eerst het binnen- dan wel het buitenbekleedsel aanraakte.

404. **Electrische batterij.** Eene *electrische batterij* is eene vereeniging van meerdere groote Leidsche flesschen in eene houten kist (fig. 324). Al de binnenbekleedsels zijn in onderlinge *verbinding* door metalen stangen of kettingen, die alle uit*loopen* op een grooten metalen knop in het midden; ook de

buitenbekleedsels zijn onderling verbonden door het bladtin, waarmede de bodem der kist beplakt is. De batterij wordt op dezelfde wijze geladen als de gewone Leidsche flesch, door het binnenbekleedsel in verbinding te stellen met de electriseermachine door middel van eene metalen stang, en het buitenbekleedsel met den grond door middel van een ketting.

De flesschen, waaruit eene batterij is samengesteld, zijn gewoonlijk zoowel van binnen als van buiten met bladtin beplakt. Hoe grooter het aantal flesschen en hoe grooter de oppervlakte der bekleedsels is, des te meer electriciteit kan men er in ophoopen; maar des te langer tijd behoeft men ook om de batterij te laden. Op eene der flesschen plaatst men een kleinen wijzer-electrometer, die dient om den graad van lading der batterij aan te wijzen; hij geeft altijd slechts eene kleine afwijking, omdat de electriciteit op het binnenbekleedsel voor het grootste deel *gebonden* is door de tegengestelde electriciteit op het buitenbekleedsel.

Wanneer de batterij geladen is, verwijdert men den con-

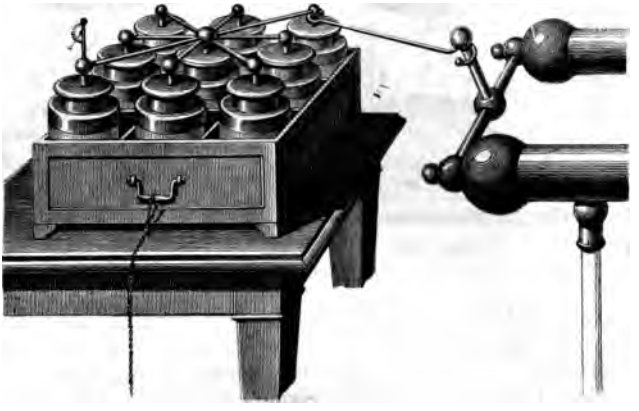


Fig. 324. Electrische batterij.

ductor der electriseermachine door middel van een haak met glazen handvat, ten einde den schok te vermijden, die bij eene groote batterij zeer gevaarlijk zou kunnen zijn. Bij de ontlading verbindt men de beide bekleedsels met de ontlaad-

tang; doch men gebruikt hiertoe niet de eenvoudige ontlaadtang van figuur 323, maar men neemt er eene met een glazen handvat, zoo als in figuur 328, en men draagt zorg eerst het buitenbekleedsel aan te raken.

405. **Condensatie-electrometer.** Wij zullen dit hoofdstuk over de condensatie besluiten met de toepassing, die Volta er

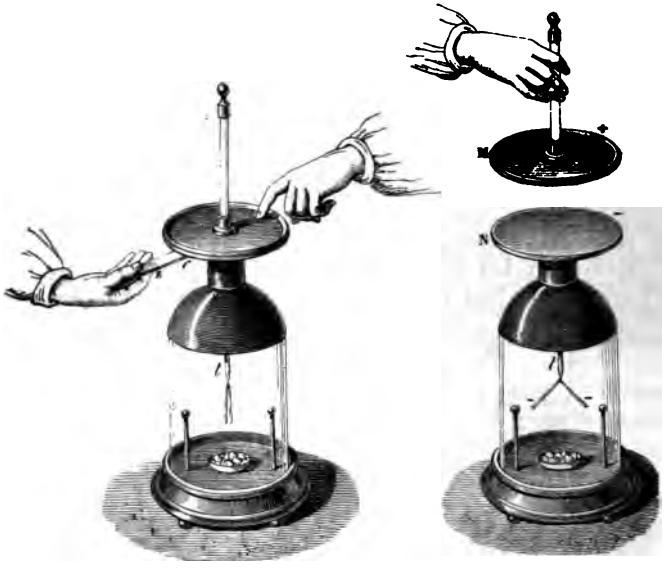


Fig. 325. Fig. 326.
Condensatie-electrometer.

van gemaakt heeft op den goudblad-electrometer. Men heeft gezien dat dit een zeer gevoelig instrument is om kleine hoeveelheden electriciteit aan te toonen (390); maar zijne gevoeligheid wordt nog veel grooter, wanneer men er twee condensatieplaten aan toevoegt, zoo als in fig. 325 en 326 is afgebeeld. De onderste plaat is gesoldeerd aan de stang *t*, die de goudblaadjes draagt; de bovenste is voorzien van een glazen handvat. Die beide platen zijn van geel-koper vervaardigd en zijn bedekt, aan de zijden waar zij elkander raken, met een laagje isoleerend vernis, dat de plaats vervangt

van de glasruit in de boven beschrevene condensators, maar dat door zijne grootere dunheid de condenseerende kracht van het toestel aanmerkelijk vermeerdert.

Om nu zeer geringe hoeveelheden electriciteit aan te toonen legt men de plaat met het glazen handvat op de vaste plaat, zooals in fig. 325; vervolgens brengt men het te onderzoeken ligchaam in aanraking met de onderste plaat en verbindt te gelijker tijd de bovenste met den grond, door aanraking met den vinger. In onze teekening bestaat het ligchaam, dat met de onderste plaat in aanraking is, uit twee metalen staafjes, van koper en van zink, die aan elkander gesoldeerd zijn. Weldra (421) zullen wij zien, dat in een zoodanig stelsel, alleen door de aanraking der beide metalen, het zink positief, het koper negatief electrisch wordt. Wanneer dus dit laatste metaal met de onderste plaat in aanraking is, deelt het aan deze negatieve electriciteit mede, welke, door het vernis heen, door invloed op de bovenste plaat werkt en daar de positieve electriciteit aantrekt. Wanneer de tegengestelde electriciteiten alzoo in de platen zijn opgehoopt, trekt men eerst den vinger terug, waarmee men de bovenste plaat had aangeraakt, en vervolgens de staaf *c z*. De goudblaadjes gaan nog niet uiteen, daar de negatieve electriciteit van de onderste plaat geneutraliseerd wordt door de positieve van de bovenste plaat; maar wanneer men deze verwijdert, zooals in fig. 326 is afgebeeld, verspreidt een gedeelte der electriciteit van de vaste plaat zich over de stang *t* en de goudblaadjes en deze laatsten stooten elkander af. Men kan op deze wijze de electriciteit aantoonen in gevallen, waarin zij volkomen onmerkbaar zou zijn bij gebruik van den electrometer zonder condensatie.

HOOFDSTUK V.

VERSCHILLENDE WERKINGEN DER ELECTRICITEIT OPGEHOOPT IN CONDENSATORS.

406. **Physiologische werkingen.** De werkingen der electriciteit worden verdeeld in physiologische, physische, mechanische en *chemische*. Zij zijn allen des te heviger, naarmate

men krachtiger electrische toestellen aanwendt, zooals de Leidsche flesch en de electrische batterijen.

De physiologische werkingen zijn diegene, welke de electriciteit op het menschelijk en dierlijk ligchaam uitoefent. Zij bestaan in plotselinge samentrekkingen der spieren, die met min of meer pijnlijke aandoeningen gepaard gaan. Wanneer er eene vonk van de electriseermachine op het ligchaam overspringt, gevoelt men slechts een kleinen steek; maar met eene kleine Leidsche flesch laat de schok zich tot in de ellebogen voelen; met een flesch van eene kan inhoud, tot in de schouders, en met eene nog grootere flesch, tot in de borst.

De schok der Leidsche flesch kan men gelijktijdig aan een

Fig, 327. Schok der Leidsche flesch.

groot aantal personen doen gevoelen. Daartoe moeten deze een keten vormen, dat is, zij moeten alle elkander de handen geven, zooals in fig. 327. De persoon, die zich aan

met eene uiteinde der keten bevindt, houdt de geladene Leidsche flesch in de hand, die aan het andere uiteinde raakt den knop der flesch aan; op hetzelfde oogenblik ontvangt iedereen den schok in gelijke mate. Nollet deed deze proef, in tegenwoordigheid van Lodewijk XV, met een geheel regiment soldaten.

Met eene batterij is de schok niet meer te verdragen, en men zou zich aan groot gevaar blootstellen door den schok te ondergaan van een batterij van slechts zes flesschen van middelbare grootte. Met krachtiger batterijen kan men katten, honden en zelfs nog grootere dieren van het leven berooven. Figuur 328 stelt het dooden van een hond voor door de ontlading eener batterij van negen flesschen. De metalen halsband van het dier is verbonden met het buitenbekleedsel; den eenen knop van de ontlaadtang met glazen handvatsels brengt men in aanraking met het achterste gedeelte van de wervelkolom, en met den anderen knop raakt men het binnenbe-

Fig. 328 Het dooden van een' hond met eene electrische batterij.

kleedsel aan; op het oogenblik dat de vonk overspringt is het dier *levenloos*.

In het schoone museum van Teyler te Haarlem bevindt zich eene batterij, die uit 225 flesschen bestaat en wier binnenbekleedsel eene oppervlakte heeft van ongeveer 23 vierkante ellen; hare ontlading is in staat een os te dooden.

407. **Lichtverschijnselen, flikkerflesch.** De lichtverschijnselen van de electriciteit hebben altijd de vereeniging van de beide vloeistoffen (de positieve en de negatieve) tot oorzaak. Eenige van deze verschijnselen hebben wij reeds doen kennen bij de beschrijving van het *electrisch ei* en *de flikkerplaat* (fig. 316 en 317). Wij zullen hier nog de *flikkerflesch* bijvoegen.

Zoo noemt men eene flesch, waar het tinnen buitenbekleedsel vervangen is door eene laag vernis, waarop zich eenig geelkopervijlsel bevindt. Aan het bladtin, dat den bodem en den onderrand van de flesch bedekt, is een metalen ketting bevestigd, die de flesch met den grond in gemeenschap brengt. Eindelijk heeft nog een band tin, die om den bovenrand geplakt is, een klein aanhangsel, dat boven den knop uitkomt en zeer sterk is omgebogen, zie fig. 329 Hangt men nu deze flesch aan de electriseermachine, dan springen er, naarmate dat zij geladen wordt, krachtige vonken over van den knop op den band van tin, en ten gevolge van de metaaldeeltjes, die op de oppervlakte van de flesch verspreid zijn, ziet men daar lange en prachtige lichtstrepen, zoo als nevensgaande figuur ons aantoont.

Fig. 329. Flikkerflesch.

Dit zijn niet anders dan electrische vermakelijkheden, maar wanneer wij de galvanische electriciteit behandelen, zullen wij lichtverschijnselen leeren kennen even merkwaardig om hunne intensiteit als om hunne belangrijke toepassingen.

408. **Warmte-verschijnselen.** De electrische vonk is niet alleen lichtgevend, maar zij is ook eene bron van zeer groote warmte. Gaat zij door ontvlambare vloeistoffen als alkohol en aether, dan steekt zij deze aan; op gelijke wijze werkt zij ook op buskruid en hars-poeder en doet zelfs metalen smelten; maar voor dit laatste heeft men eene krachtige batterij noodig. Eene gewone Leidsche flesch is voldoende om alkohol en aether te doen ontvlammen met het toestel, dat wij in fig. 330 voorstellen. Het is een klein glazen bakje, waarvan de bodem doorboord is door een koperen staaf, die in een knop eindigt en ook aan een koperen voetstuk bevestigd is. Heeft men nu de vloeistof in het bakje gegoten, zoodanig dat de knop geheel onderdompelt, dan nadert men met den knop eener geladene Leidsche flesch den knop in het glazen bakje, terwijl men vooraf den koperen voet met het buitenbekleedsel der flesch door een metalen ketting in gemeenschap brengt. Dit buitenbekleedsel werkt dan met het metalen voetstuk als ontlader en doet een vonk door de vloeistof overspringen, en op dit oogenblik ontvlamt zij.

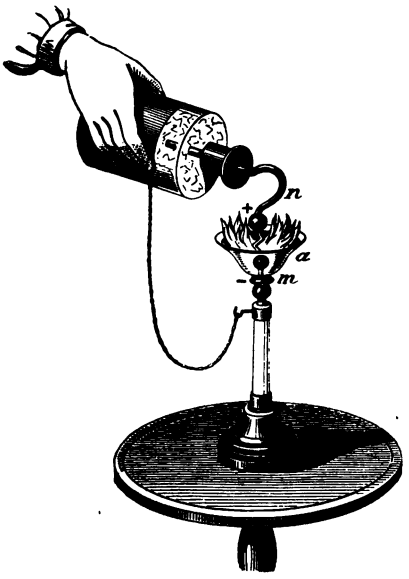


Fig. 330. Warmte-ontwikkeling door de electriciteit.

Het is overigens niet noodzakelijk voor deze proef eene Leidsche flesch te gebruiken; zij gelukt even goed met de vonk eener electriseermachine. Men kan ze zelfs nog aardiger maken door zich op het geïsoleerde bankje (fig. 279) te plaatsen en de vloeistof aan te steken door middel van de vonk, die uit den vinger overspringt. Een engelsch natuurkundige

deed deze proef eens, tot groote verbazing zijner toeschouwers, door een vonk te trekken uit een stukje ijs, dat hij in de hand hield.

Wanneer de ontlading der batterij plaats heeft door een dunnen metaaldraad, dan wordt deze gloeijend en kan ook gesmolten en zelfs vervluchtigd worden, wanneer de batterij sterk genoeg is.

Om deze proef te doen maakt men gebruik van den *algemeenen ontlader*. Dit werktuig, afgebeeld in figuur 331, bestaat uit twee koperen stangen A en B, die op glazen voeten geïsoleerd zijn. Deze stangen zijn om scharnieren bewegelijk en laten zich daarenboven in hunne standaards verschuiven, zoodat men ze meer of minder tot elkander kan doen naderen en ze alle mogelijke standen kan doen aannemen.

Fig 331. Het smelten van een draad.

Tusschen deze beide stangen is een houten tafeltje M, bestemd tot het dragen van het een of ander voorwerp.

Om metaaldraad te smelten bevestigt men dit aan twee me-

talen knopjes *i*, die op de stangen bevestigd zijn; eene van deze laatste verbindt men door middel van een ketting met het buitenbekleedsel, en de andere door middel van de ontlaadtang met het binnenbekleedsel eener krachtige batterij.

Op het oogenblik dat de vonk overspringt, smelt de draad, wanneer deze dun genoeg is, tot kleine gloeijende bolletjes, en wordt soms zelfs geheel vervluchtigd, dat is, in damp veranderd, die zich in den dampkring verspreidt. Wanneer de draad te dik is, gloeit hij slechts en verspreidt een helder licht zonder te smelten; wanneer hij nog dikker is wordt hij slechts verwarmd, zonder te gloeijen.

Met de groote batterij van Teyler's museum, waarvan wij boven gesproken hebben, kan men ijzerdraden van 15 tot 20 ellen lengte smelten. Men kan ook metaaldraad onder water smelten, zelfs met eene gewone batterij, maar dan moet de draad veel dunner en korter zijn dan in de lucht, uithoofde van de sterkere afkoeling, die in het water plaats grijpt.

409. **Portretten door electriciteit.** Men heeft de smelting der metalen door de electrische ontlading toegepast op het maken van *portretten door electriciteit.* Hiertoe snijdt men een klein stukje karton in den vorm *abm* (fig. 332), en

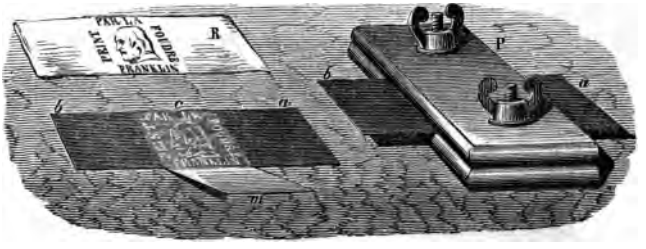


Fig. 332. Portretten door electriciteit.

men knipt in het midden *c* het portret uit, dat men wil maken; daarna plakt men een stukje bladtin op het overige gedeelte van het karton bij *a* en *b*, maar niet bij *c*. Eindelijk brengt men op het gedeelte, dat uitgeknipt is, een van die uiterst dunne stukjes goudblad, welke door de goudslagers vervaardigd worden, terwijl men zorg draagt dat

het goed de beide blaadjes tin in *a* en *b* aanraakt. Men slaat nu het zijgedeelte *m* op het goudblad toe, en men plaatst het stuk karton op een wit zijden lint en dit alles tusschen eene houten pers P, links op onze teekening voorgesteld. Bij het doorgaan van eene ontlading eener batterij van *a* naar *b*, wordt het bladtin, dat dikker is, niet gesmolten, maar wordt het goud, dat uiterst dun is, vervluchtigd en brengt op het witte lint door de uitgeknipte gedeelten een bruin neerslag, dat al de trekken te voorschijn brengt, zooals wij bij R zien.

410. **Mechanische werkingen.** Men verstaat door *mechanische werkingen* der electrische batterij het verscheuren, doorboren, verbrijzelen, enz. van slecht geleidende ligchamen, die aan de ontlading zijn blootgesteld. Deze werkingen toont men gewoonlijk aan met den algemeenen ontlader. Op het tafeltje

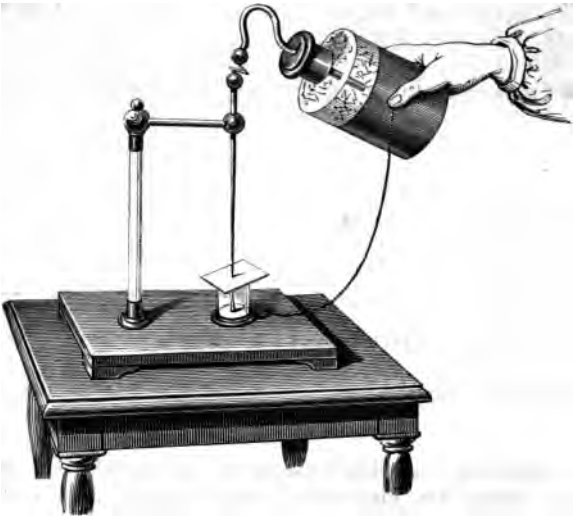


Fig. 333. Het doorslaan eener kaart.

M plaatst men het ligchaam, dat men aan de proef wil onderwerpen, door het met de beide bollen, waarin de stan- *A en B* eindigen, in aanraking te brengen, zoodat de *ding* noodzakelijk door het voorwerp heen moet. Wan-

neer dit voorwerp nu bij voorbeeld een stukje hout is, geplaatst in de richting der vezel, dan ziet men het in duizend splinters uiteen geworpen, op het oogenblik dat de vonk overspringt.

Figuur 333 stelt een toestel voor, dat mede kan dienen om mechanische werkingen der electriciteit aan te toonen.

Op een glazen ring is een voorwerp geplaatst, dat men wil doorboren, bij voorbeeld eene kaart; daaronder bevindt zich eene metalen stang, in verbinding met een haakje waaraan een metalen ketting is vastgehecht; boven de kaart bevindt zich eene geïsoleerde koperen stang. Wanneer men nu de ketting met het buitenbekleedsel eener Leidsche flesch verbindt en met den knop van deze nadert tot den knop van de bovenste stang, ziet men te gelijker tijd twee vonken overspringen, eene tusschen beide knoppen, en eene tusschen de twee punten, welke laatste de kaart doorboort, zoodat er zich een gaatje in bevindt.

Om een vaster ligchaam te doorboren, bij voorbeeld een stuk glas, is ééne Leidsche flesch niet voldoende, daartoe is eene batterij noodig. Die van Teylers museum doorboort een boek van 200 bladzijden in éénen slag geheel en al.

Over de scheikundige werkingen der electriciteit zullen wij hier niet spreken, wij hebben er reeds melding van gemaakt bij gelegenheid van het pistool van Volta, en later komen wij er nog uitvoeriger op terug.

HOOFDSTUK VI.

ELECTRICITEIT VAN DEN DAMPKRING, BLIKSEM EN BLIKSEM-AFLEIDERS.

411. **Identiteit van den bliksem en de electriciteit.** Reeds van het begin der electrische ontdekkingen af vergeleken sommige proefnemers de zigzagbeweging van de electrische vonk met den bliksem, en het knetterend geluid, dat zij voortbrengt, met den donder. Maar de overeenkomst werd veel grooter toen men de krachtige werktuigen der batterijen leerde kennen. Deze veroorzaakten, even als de bliksem, een zwaren knal, deden metalen smelten, doodden dieren, verbrij-

zelden getroffene voorwerpen, zetten brandbare stoffen in vlam en verspreidden een sterken zwavelreuk; kortom, men werd getroffen door de groote overeenkomst. Franklin was de eerste, die in eene verhandeling, den 7den Nov. 1749, te Philadelphia uitgegeven, de volkomen overeenkomst tusschen den bliksem en de electriciteit onzer electriseermachines aantoonde. „De electrische vloeistof," zegt hij aan het slot zijner verhandeling, „wordt door punten aangetrokken; het is ons nog onbekend of deze eigenschap ook aan den bliksem toekomt, maar aangezien electriciteit en bliksem in alle andere opzichten overeenkomen is het waarschijnlijk, dat zij ook te dezen aanzien met elkander zullen overeenstemmen; *men moet er de proef van nemen.*"

De verhandeling van Franklin werd naar Londen overgebracht, doch maakte daar zeer weinig opgang; maar te Parijs liet de beroemde natuurkundige Buffon ze in het Fransch vertalen en verschafte haar daardoor meer bijval. Het was evenwel eerst op den 10den Mei 1752 dat de eerste proef genomen werd om, volgens de aanwijzing van Franklin, met eene punt, aan eene onweêrswolk de electriciteit te onttrekken, die zij bevatte. Deze proef werd gedaan door Dalibard, een fransch botanicus, te Marly bij Parijs, waar hij in een tuin eene geïsoleerde ijzeren staaf van 13 ellen lengte, die in eene punt eindigde, had opgericht. Toen er eene onweerswolk boven de staaf heentrok werd deze electrisch, en gedurende een kwartier kon men er vonken uittrekken, die voldoende waren om verscheidene groote Leidsche flesschen te laden. Te gelijker tijd rolde de donder boven de hoofden der proefnemers, hetgeen wel aantoonde, dat de verkregene electriciteit afkomstig was van eene onweerswolk.

Franklin van zijn kant was er ook op bedacht om door middel van eene punt de electriciteit aan de wolken te onttrekken. Hij wachtte daartoe op de voltooijing van een toren met klokkenspel te Philadelphia. Maar zijn geduld verliezende kwam hij op het denkbeeld, dat een vlieger, waarop zich eene punt bevond, even goed zou kunnen dienen. In Junij 1752, eene maand na de proef van Dalibard en zonder dat hij van deze kennis droeg, bevestigde hij een zijden doek in de vier hoeken aan een kruis van wilgenhout, voegde de gewone bijvoegselen bij, om het tot een vlieger te

maken, zette er eene metalen punt op, en begaf zich toen bij eene onweer voorspellende lucht met zijn zoontje naar het veld. Toen de vlieger in de lucht stond bevestigde hij een sleutel aan het touw en bond dit met een' zijden koord aan een boom vast om den vlieger geïsoleerd te hebben. Te vergeefs trachtte hij vonken uit den sleutel te trekken, en hij begon reeds te wanhopen aan het welgelukken der proef, toen er eene regenbui nederviel; het vochtig geworden touw was nu een betere geleider, en Franklin verkreeg de gewenschte vonken. Zijne blijdschap was zoo groot dat hij, zoo als hij in zijne brieven verhaalt, zijne tranen niet kon weerhouden, en dat hij op dat oogenblik zonder hartzeer had kunnen sterven.

412. **Electriciteit van den dampkring.** Niet alleen in de onweerswolken vindt men vrije electriciteit, zoo als door Dalibard en door Franklin werd aangetoond; men treft ze ook in den dampkring aan, zelfs wanneer deze volkomen helder en onbewolkt is. De electriciteit is alsdan positief, en zij is het overvloedigst in verhevene, opene plaatsen. In de huizen, in de straten, onder de boomen vindt men er geen spoor van. Bij onweer bevindt zich nu eens positieve, dan weder negatieve electriciteit in den dampkring. De wolken zijn doorgaans alle electrisch; sommige positief, andere negatief.

De electriciteit der wolken is aangetoond door middel van metalen punten, zoo als die van Dalibard, of door middel van vliegers waarbij het touw, dat ze aan de aarde verbond, met metaaldraad doorvlochten was en in een zijden koord eindigde. Om de dampkrings-electriciteit te bepalen heeft men verschillende middelen aangewend, maar voornamelijk den goudblad-electrometer (fig. 310, pag. 509). Alleen werd dan de bol aan het boveneinde van het instrument vervangen door een koperen stang van 5 of 6 palm lengte, waaraan het eene uiteinde aan een langen metaaldraad bevestigd was, die aan het andere einde met een geelkoperen bol was verbonden. Wanneer deze tot eene zekere hoogte in den dampkring werd opgeworpen, zag men de goudblaadjes van den electrometer uiteen gaan, en wel des te meer, naarmate de bol eene grootere hoogte bereikte, hetgeen aantoonde, dat de bol dan ook meer electriciteit opnam. Bij dergelijke onderzoekingen, *op den* St. Bernard in het werk gesteld, ver-

ving Becquerel den bol door een pijl, die met een boog in de hoogte geschoten werd. Bij deze proeven was het niet de wrijving van de lucht tegen den bol of tegen den pijl, die ze electriseerde, want zij gaven geen spoor van electriciteit, wanneer men ze horizontaal voortwierp.

Er is veel geschreven ter verklaring van den oorsprong der electriciteit, waarmede de dampkring en de wolken geladen zijn. Sommigen hebben die toegeschreven aan den plantengroei, anderen aan de verdamping van het water aan de oppervlakte van den grond en van den oceaan, anderen weder aan scheikundige werkingen in den bodem of in het water. Deze laatste meening is in den laatsten tijd vooral voorgestaan door Becquerel, die zich zeer veel met de electrische verschijnselen heeft bezig gehouden.

413. **Weerlicht, donder, bliksem.** Het *weerlicht* is niet anders dan eene ontzettend groote vonk, die overspringt tusschen twee wolken, die met tegengestelde electriciteiten geladen zijn. Het heeft somtijds eene lengte van eenige mijlen en vertoont meestal den zigzagvorm van de vonk der electriseermachines. Het licht is verblindend wit in de lagere streken van den dampkring, maar in de hoogere, waar de lucht meer verijld is, neemt het eene violette tint aan.

De *donder* is het geluid, dat op het weerlicht volgt. Dit geluid en het weerlicht ontstaan gelijktijdig in de wolken, en evenwel hoort men den donder altijd later dan men het licht ziet. Dit laat zich gemakkelijk verklaren, wanneer men zich herinnert, dat de snelheid van het licht zoo verbazend groot is, dat wij het licht nagenoeg op hetzelfde oogenblik zien dat het ontstaat, terwijl het geluid zich slechts met eene snelheid van 332 ellen in de seconde voortplant. Zoo dikwijls deze afstand dus begrepen is in den afstand van de wolk tot ons, zooveel seconden verloopen er vóór wij het gerommel van den donder hooren. Dit geeft ons het middel aan de hand om den afstand in ellen te berekenen, waarop wij van eene onweerswolk verwijderd zijn, door 332 te vermenigvuldigen met het aantal seconden dat verloopt tusschen het verschijnen van het weerlicht en het begin van het rollen des donders.

Dit geluid verandert met den afstand; van nabij is het *droog* en kort van duur, eenigzins gelijkend op het geluid van planken, die op elkander vallen. Op grooten afstand

duurt het geluid voort onder den vorm van gerommel van veranderlijke sterkte, dat verscheidene seconden en zelfs eene minuut kan duren. Men is het tot nog toe niet eens over de oorzaak van het rollen van den donder. Sommigen hebben het toegeschreven aan eene herhaalde terugkaatsing van het geluid op de wolken en op den bodem; anderen hebben het weerlicht beschouwd, niet als ééne enkele vonk, maar als eene reeks van opeenvolgende vonken, die ieder haren afzonderlijken slag deden ontstaan; nog anderen hebben het rollen van den donder toegeschreven aan den zigzagvorm zelven van het weerlicht en aan de grootere samendrukking der lucht bij iederen scherpen hoek, waardoor de veranderlijke sterkte van het geluid zich zou laten verklaren.

De *bliksem* is de electrische ontlading tusschen eene wolk en de aarde. Wanneer namelijk eene geëlectriseerde wolk over de aarde heendrijft, werkt zij door invloed op den bodem, stoot de gelijknamige electriciteit af en trekt de ongelijknamige aan; zoodra nu de spanning der beide electriciteiten grooter is dan de weerstand der lucht, springt de vonk over en men zegt, dat de *bliksem inslaat*, omdat men zich gewoonlijk voorstelt, dat de vonk van boven naar beneden gaat. Somtijds evenwel heeft men den bliksem zich naar boven zien bewegen.

Daar de onderlinge aantrekking tusschen de beide electriciteiten des te grooter is, naarmate de afstand kleiner is (381), zoo begrijpt men, dat de ligchamen, die zich het dichtst bij de onweerswolk bevinden, het gemakkelijkst moeten getroffen worden. Men neemt ook inderdaad waar, dat het de verhevenste plaatsen zijn, heuvels, gebouwen, boomen, enz. waar de bliksem bij voorkeur inslaat. Hij kiest ook de beste geleiders, zoo als metalen, vochtige ligchamen of boomen. Daarom is het onvoorzichtig onder deze laatste te schuilen, wanneer het onweert.

414. **Werkingen van den bliksem, gering aantal slachtoffers.** De werkingen van den bliksem zijn zeer verschillend en soms zeer zonderling; hij verbrijzelt de slechte geleiders, zet brandbare stoffen in vlam, smelt de metalen, berooft dieren van het leven en keert de polen der kompasnaald om. Men merkt op, dat hij niet altijd onder den vorm van eene vonk inslaat, maar somtijds onder den vorm van een vuurbol, die zelfs vrij langzaam naar beneden daalt in vergelijking van

de vonk, en eindigt in eene ontploffing met een vreesselijken slag, gelijk staande met het gebulder van verscheidene kanonnen. Het is vooral in dezen toestand, dat de bliksem de gebouwen, waar hij inslaat, in brand steekt. Men verhaalt, dat in 1718, toen de bliksem in den vorm van een vuurbol te Gouesnon bij Brest was ingeslagen, deze het dak en de muren van het huis deed uiteenspringen, alsof er eene mijn gesprongen ware, en dat er in alle richtingen steenen werden weggeworpen tot op 50 el afstands.

De bliksem laat een bijzonderen zwavelachtigen reuk achter. Sedert eenige jaren schrijft men dezen reuk toe aan de electriseering van de zuurstof der lucht, waardoor deze in een anderen toestand komt, waaraan men den naam van *ozon* gegeven heeft.

Vele menschen hebben eene groote vrees voor het onweer. Deze vrees zou veel verminderen wanneer men meer lette op het geringe aantal personen, die daardoor het leven verliezen. In Frankrijk komen gemiddeld jaarlijks slechts twintig dergelijke sterfgevallen voor, dat is ongeveer één op de twee millioen inwoners. Dit is veel minder dan bij andere bronnen van ongelukken, waarvoor men toch veel minder bevreesd is.

Op vele dorpen bestaat de gewoonte, wanneer het onweert de klok te luiden, in de gedachte, dat deze godsdienstige plechtigheid de wolk zal verwijderen en den hagel zal terug houden, die voor den oogst zoo nadeelig kan zijn. Wanneer dit alleen een vooroordeel ware, zoude er geen groot bezwaar bestaan om de landlieden in deze bijgeloovige gerustheid te laten; maar er bestaat werkelijk gevaar voor degenen, die luiden. Want alle verhevene gebouwen worden eer getroffen dan andere, en men ziet ook werkelijk dat de bliksem zeer dikwijls in torens inslaat en de zich daarin bevindende personen doodt. Wanneer men dus bij het woeden van een onweer de klok laat luiden, stelt men het leven van arme, onwetende menschen noodeloos aan gevaar bloot.

415. **Terugslag.** Door *terugslag* verstaat men een hevigen, soms zelfs doodelijken schok, die menschen en dieren ondervinden op een grooten afstand van de plaats, waar de bliksem inslaat (fig. 334). Dit verschijnsel is een gevolg van den invloed, dien de onweerswolk op de voorwerpen onder haar heeft uitgeoefend; deze laatste zijn alle sterk geladen

met electriciteit, tegengesteld aan die van de wolk. Wanneer nu de bliksem inslaat wordt de wolk plotseling ontladen, de electriseering door invloed houdt op, en al de electrische ligchamen aan de oppervlakte der aarde keeren

Fig. 334. Terugslag.

tot den neutralen toestand terug. Het is deze plotselinge overgang, die den terugslag veroorzaakt.

Men kan dit verschijnsel in het klein nabootsen door een levenden kikvorsch in de nabijheid te plaatsen van eene electriseermachine, die in werking is. Telkens als men de machine ontlaadt door ze met den vinger aan te raken, ontvangt de kikvorsch een schok.

416. **Bliksem-afleiders.** De *bliksem-afleiders* zijn toestellen, die, gelijk de naam aanduidt, bestemd zijn om voorwerpen voor de noodlottige werking des bliksems te behoeden. Zij bestaan uit eene ijzeren stang van 6 tot 10 ellen lengte, die boven op het gebouw, dat men wil beschermen, bevestigd en door ijzeren of koperen stangen aan de buitenzijde van het gebouw met den grond verbonden is (fig. 335). Deze verbinding met den grond moet zeer innig zijn; men laat daartoe de stang in het water uitloopen of bij gebrek daaraan in eene put van 4 of 6 ellen diepte, die men met houtskolen, een goede geleider

voor de electriciteit, heeft opgevuld. Het gebruik van cokes is hiertoe even goed.

De bliksem-afleider werd door Franklin uitgevonden. Op hem zinspelende zong de dichter:

„En aan zijn voeten zwijmt de bliksem stervend neder."

Franklin en de natuurkundigen van zijn tijd meenden, dat de bliksem-afleiders de onweerswolken ontlaadden door ze van hare electriciteit te berooven. Thans, nu men de werking

Fig. 335. Bliksem-afleider.

door invloed van geëlectriseerde ligchamen en het vermogen der punten kent (fig. 306), is deze verklaring vervallen; men moet juist het tegendeel aannemen. Wanneer namelijk eene sterk electrische wolk in den dampkring zweeft, werkt zij door invloed op de neutrale electriciteit van den grond, stoot de gelijknamige af en trekt de ongelijknamige aan, die zich alzoo ophoopt in de ligchamen onder de wolk. Deze ligchamen loopen dan groot gevaar van door den bliksem getroffen te worden: maar wanneer men ze voorziet met meta-

len punten, die met den grond in verbinding staan, doen deze de electriciteit naar de wolk uitstroomen; zoodat zij niet alleen verhinderen dat de electriciteit zich in de ligchamen ophoopt, maar ook de wolk langzamerhand tot den neutralen toestand doen naderen. Om deze beide redenen voorkomt de bliksem-afleider het inslaan. Somtijds evenwel is de hoeveelheid electriciteit zoo groot, dat de bliksem-afleider niet voldoende is om ze door de punt te doen uitstroomen; er volgt dan een bliksemstraal, maar deze treft dan altijd, uit hoofde van diens betere geleiding, den bliksem-afleider.

Het is van belang, dat de bliksem-afleiders in eene fijne punt eindigen, ten einde eene vrijere uitstrooming voor de electriciteit uit den grond te verschaffen, en daar die punt, wanneer ze van ijzer is, door roesting stomp wordt, is het aan te raden de punt te vergulden of er eene koperen punt op te plaatsen, welk metaal niet zoo ligt roest als het ijzer. Of wel eene punt van platina, welk metaal in het geheel niet roest.

Het spreekt van zelf, dat er nergens eene afbreking mag plaats hebben tusschen de verschillende stukken, waaruit de afleider bestaat; anders zou deze meer nadeel dan voordeel doen, door den bliksem aan te trekken zonder dien af te leiden. De Parijsche Académie des Sciences stelde, dat een goede bliksem-afleider de voorwerpen in den omtrek beschermt tot op een afstand gelijk aan tweemaal zijne hoogte; hoe hooger hij dus ware, des te grooter zoude zijne werking zijn.

Arago heeft echter deze stelling weersproken door vele voorbeelden aan te halen in welke de bliksem dichter bij den afleider insloeg dan de grenzen, die hem de Académie stelde.

HOOFDSTUK VII.

LUCHTVERSCHIJNSELEN, WAARAAN MEN EEN ELECTRISCHEN OORSPRONG TOESCHRIJFT.

417. **Hagel.** Men geeft den naam van *luchtverschijnselen*, *meteoren*, aan de verschijnselen, die in onzen dampkring plaats grijpen. De wind, de regen, de sneeuw, de bliksem zijn alle luchtverschijnselen. Sommige van deze schijnen het

gevolg te zijn van electrische werkingen; behalve de bliksem zijn het de hagel, de hoozen en het noorderlicht.

De *hagel* bestaat uit kleine ijsbolletjes, die uit den dampkring nedervallen. De zoogenaamde *hagelkorrels* bestaan gewoonlijk uit een doorschijnend laagje om eene ondoorzichtige kern, die anders is dan een vlok samengepakte sneeuw. De hagelkorrels bereiken soms eene aanmerkelijke grootte, zoo als die van een duiven-ei; men heeft er gevonden, die 300 wichtjes wogen.

Het vallen van den hagel wordt dikwijls voorafgegaan door een eigenaardig geluid, dat men toeschrijft aan het onderlinge botsen der hagelkorrels; het is te vergelijken bij het rammelen van een zak met noten. De hagel gaat altijd met electrische verschijnselen gepaard, en hij wordt altijd voorafgegaan of gevolgd door onweer, hetgeen tot de gedachte geleid heeft, dat de electriciteit eene voorname rol speelt bij zijn ontstaan. Maar op eene voldoende wijze is het geheele verschijnsel nog niet verklaard, evenmin als de verbazende grootte die de korrels soms bereiken vóór zij op aarde vallen. Volta meende, dat zij, tusschen twee tegengesteld electrische wolken geplaatst, voortdurend van de eene naar de andere werden getrokken, evenals bij den electrischen poppendans, en dat gedurende deze heen- en weergaande beweging de waterdamp zich verdichtte en zich aan de oppervlakte der korrels afzette, waardoor deze steeds in grootte toenamen. Deze theorie is thans echter vervallen.

418. **Hoozen.** De *hoozen* zijn hevige dwarrelwinden, die water en damp met zich voeren, en alles wat zij op hun weg ontmoeten vernielen of meeslepen. Zij doorloopen dikwijls eene groote uitgestrektheid lands, terwijl zij meestal vergezeld gaan van een geluid, niet ongelijk aan dat van een zwaar beladen wagen over een steenachtigen weg.

Het weerlicht en de vuurbollen, die dikwijls uit de hoozen te voorschijn komen, het rammelend geluid, dat hen vergezelt, toonen aan dat de electriciteit medewerkt tot het ontstaan van deze gevreesde luchtverschijnselen.

Men onderscheidt twee soorten van hoozen: *land-* en *zeehoozen*, naar de plaats waar zij zich vertoonen. Het zijn vooral de laatste, die dikwijls een merkwaardig gezicht opleveren; de wateren van den oceaan zijn onstuimig en worden

kegelvormig opgeheven, terwijl de wolken zelve in den vorm van een omgekeerden kegel neerdalen; de beide kegels ver-

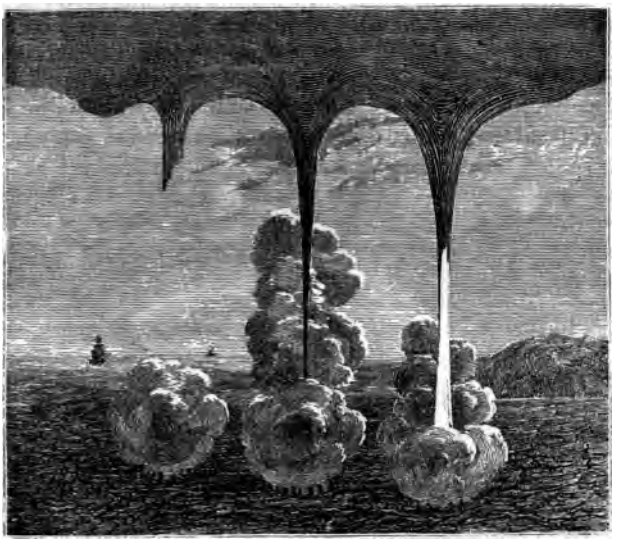


Fig. 336. Hoozen.

eenigen zich aan hunne toppen en vormen een geduchten pilaar, die de zee met de wolken verbindt.

419. **Noorderlicht.** Het *Noorderlicht* is een prachtig lichtverschijnsel, dat zich in de nabijheid van de beide polen der aarde vertoont; aan de noordpool is het het meest bekend, en daaraan is de naam ontleend. Men ziet daar, kort na zons-ondergang, een zwakken lichtglans aan den horizon verschijnen, in de richting van den magnetischen meridiaan. Deze glans gaat over in een regelmatigen boog van een zwak geel, met de holle zijde naar den horizon gewend, en eindelijk van den horizon uit van geel overgaande in rood, groen en violet. Al deze stralen zijn naar een zelfde punt van den hemel gericht, dat bepaald wordt door de richting van het noordeinde der inclinatienaald (372), en vormen dan een gedeelte van een statigen, door enkel licht gevormden koepel,

of wel eene schitterende kroon, die de duisternis van den nacht verlicht.

Wanneer de lichtkroon zich eens gevormd heeft, blijft zij dikwijls eenige uren zichtbaar, dan vermindert zij allengs in helderheid, de kleuren verdwijnen, en het indrukwekkende verschijnsel wordt, meer of minder snel, geheel uitgedoofd.

De noorderlichten oefenen eene storende werking uit op de kompasnaalden; zij ontstaan altijd in de richting van den mag-

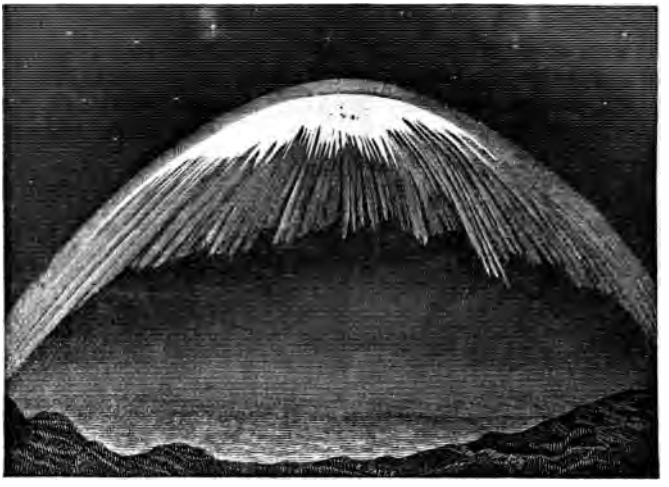


Fig. 337. Noorderlicht.

netischen meridiaan. Daar nu de electriciteit, die bij scheikundige werkingen ontwikkeld wordt, zooals wij weldra zien zullen, dezelfde verschijnselen oplevert, zoo kan er geen twijfel bestaan of het noorderlicht is van electrischen oorsprong.

420. **St. Elms-vuur.** De zeelieden geven dezen naam aan vurige punten of pluimen, die men bij onweder waarneemt op de toppen der masten of ra's der schepen en die somwijlen van een knetterend geluid vergezeld gaan, dat men vergelijken kan bij het geluid van de electrische vonk.

Deze lichte verschijnselen waren reeds bij de ouden bekend: *Plinius* spreekt van vurige sterren op de ijzeren pun-

ten van de lansen der soldaten. Zag men er twee, dan was het een gunstig voorteeken en men noemde ze Castor en Pollux, zag men er slechts een, dan was het ongunstig en men noemde het licht Helena.

Het St. Elms-vuur is niet anders dan een verschijnsel van electriseering door invloed. Het is de electriciteit der lucht, die op de geleidende ligchamen werkende, de neutrale vloeistof ontbindt en de tegengestelde electriciteit er aan onttrekt: en het is vervolgens het vermogen der punten, dat maakt dat de electrische vloeistof, uitvloeiende bij de toppen der masten en het ijzer der lansen enz., vurige punten en pluimen doet ontstaan, waaruit het St. Elms-vuur bestaat. Men kan hetzelfde verschijnsel verkrijgen door eene metalen punt op den conductor van eene electriseer-machine te plaatsen en de machine in het donker te doen werken.

HOOFDSTUK VIII.

ELECTRICITEIT DOOR SCHEIKUNDIGE WERKING ONTSTAAN, KOLOM VAN VOLTA.

421. **Proef van Galvani.** Wij hebben (pag. 490) de wrijving en de scheikundige verbindingen als de twee krachtigste bronnen der electriciteit leeren kennen. Nadat wij de eerste beschreven hebben blijft ons de tweede ter behandeling over. Wij moeten echter doen opmerken dat wij hier niet eene andere soort van electriciteit bedoelen, maar slechts eene andere wijze om electrische werking voort te brengen, die veel overvloediger is dan die door wrijving wordt voortgebracht en dus veel krachtiger verschijnselen oplevert.

Aan Galvani, professor in de anatomie te Bologne, hebben wij de ontdekking in 1790 van deze nieuwe electrische verschijnselen te danken. Hij nam bij toeval waar, dat een juist gedoode kikvorsch, bij eene electriseermachine geplaatst, hevige samentrekkingen toonde, telkens als er vonken uit de machine getrokken werden. Het verschijnsel was eenvoudig; het was slechts terugwerking, en een natuurkundige zoude er niet meer over hebben nagedacht. Gelukkig was Galvani, ofschoon *ervaren ontleedkundige*, weinig bekend met electri-

sche verschijnselen; hij veranderde dus zijne proefneming op duizenderlei wijzen om achter het geheim van dit verschijnsel te raken en deed bij deze gelegenheid de belangrijke ontdekking. Hij bemerkte, dat een doode kikvorsch, door middel van een koperen haakje aan de ijzeren leuning van een venster opgehangen, telkenmale als de onderste ledematen door den wind tegen het ijzer werden geslingerd, hevige samentrekkingen toonde. Dit was nu een vreemd, een onverklaarbaar verschijnsel, want hier was geene electriciteit, noch electrische machine, noch terugslag in het spel. „De bevreemding van den Hoogleeraar van Bologne," zegt Arago, „was toen geheel en al te wettigen en gansch Europa deelde daarin."

De proef van Galvani maakte groote opspraak: overal werd ze herhaald en men kan zeggen, dat voor de kikvorschen een ongelukkig tijdperk aanbrak. De figuur 338 doet duidelijk zien hoe men deze proef moet nemen. Het hoofd van eenen kikvorsch afgesneden hebbende, stroopt men hem spoedig de huid af en hangt hem aan een koperen haakje, dat men tusschen de wervelkolom en de lendenzenuwen, die aan weerszijden liggen, laat doorgaan; vervolgens neemt men een staafje zink in de hand en brengt dit eerst in aanraking met het koper, waaraan de kikvorsch hangt en vervolgens met de onderste ledematen. Bij iedere aanraking worden de spieren snel bewogen en de pooten 'hten dezefde bewegingen als tijdens het leven.

Fig. 338. Proef van Galvani met den kikvorsch.

dit verschijnsel te verklaren nam Galvani eene afzon-

derlijke soort van electriciteit aan, eigen aan de dierlijke ligchamen, welke, bij den overgang van de zenuwen naar de spieren door den metalen geleider, de samentrekkingen veroorzaakte. Deze theorie werd, onder den naam van *dierlijke electriciteit*, *levens-vloeistof*, vooral door geneeskundigen en physiologen aangenomen, die hierdoor dachten tevens het geheim des levens doorgrond te hebben. Maar al deze schitterende vooruitzichten werden al spoedig den bodem ingeslagen door de nauwkeurige proefnemingen van Volta.

422. **Proef van Volta, contact-theorie.** Volta, hoogleeraar in de natuurkunde te Pavia, reeds bekend door zijne uitvinding van den electrophoor, den condenseerenden electrometer en den eudiometer, haastte zich de proef van Galvani te herhalen en nam de omstandigheid waar, dat de samentrekking der spieren veel sterker is, wanneer de boog uit twee verschillende metalen, dan wanneer hij uit één metaal bestaat.

Dit feit was aan Galvani geenszins ontsnapt, maar het verschijnsel louter uit een physiologisch oogpunt beschouwende, had hij geen rekenschap gehouden van de werking der twee metalen. Volta daarentegen was geen ontleedkundige, beoordeelde het feit als natuurkundige en schreef als zoodanig de oorzaak van dit verschijnsel aan de metalen zelven toe.

Hiervan uitgaande, stelde Volta zijne *contact-theorie* op, waarin hij als algemeen beginsel vaststelde, dat door het enkele feit van aanraking van twee metalen, of twee verschillende ligchamen van welken aard ook, er steeds ontleding plaats heeft der natuurlijke electriciteit van de twee ligchamen; de positieve vloeistof begeeft zich dan op het eene, de negatieve op het andere ligchaam. Hij noemde *electriciteit-opwekkende* of *electromotorische kracht*, de kracht die op het oogenblik van aanraking de twee electrische vloeistoffen scheidt; eene kracht die, volgens hem, zich daarenboven verzet, evenals de coërcitief-kracht bij de magneten, tegen de hereeniging van deze op de beide ligchamen opgehoopte ongelijknamige electriciteiten. Eindelijk, daar de electromotorische kracht in intensiteit verschilt naarmate van de ligchamen die gebezigd worden, noemde Volta *goede electromotoren* die stoffen, die bij aanraking veel electriciteit, en *slechte electromotoren* die welke weinig voortbrengen. Twee der beste electromotoren zijn het zink en koper aan één gesoldeerd.

Het was toen dat Volta de proef nam, die wij beschreven hebben bij de behandeling van den condenseerenden electrometer (fig. 325 en 326), waarbij hij den electrometer laadde door hem aan te raken met eene staaf koper, gesoldeerd aan eene staaf zink. Deze beslissende proef wierp de theorie van Galvani omver, doch de contact-theorie werd weldra zelve weder verworpen en vervangen door een derde, de *scheikundige theorie* genaamd.

423. **Kolom van Volta.** Zijne contact-theorie als uitgangspunt nemende, gelukte het Volta in 1800 het bewonderenswaardig toestel uit te vinden, dat zijnen naam vereeuwigt en tegenwoordig nog den naam draagt van *kolom van Volta*. De aanrakingen der ligchamen willende vermeerderen en de gevormd wordende electriciteit van elk willende vereenigen, be-

Fig. 339. Kolom van Volta.

dacht de uitstekende natuurkundige om een schijfje zink, *een schijfje* koper, vervolgens een schijfje laken met een slap

zuur doortrokken, en zoo vervolgens een menigte paren op een te stapelen, met dien verstande, dat steeds dezelfde volgorde in acht werd genomen, zooals fig. 389 duidelijk aantoont.

Wat is er nu van zulk eene verbinding te verwachten? „Welnu", zegt Arago, „ik aarzel niet te zeggen, dat deze massa „oogenschijnlijk onwerkzaam, deze grillige opeenstapeling, „deze *kolom*, bestaande uit vele paren van twee verschillende „metalen, gescheiden door een weinig vocht, wat de zonder„lingheid harer werkingen betreft, het merkwaardigst toestel „is, dat de mensch immer heeft bedacht, zelfs de telescoop „en stoommachine niet uitgezonderd."

De vereeniging van een zink en een koper schijfje vormt een *paar*, of *element;* in bovenstaande teekening zijn 20 elementen opeengestapeld, elk door een rond lapje laken gescheiden en nauwkeurig in dezelfde orde gerangschikt, zoodat het uiterste plaatje aan het eene einde zink, aan het andere koper is. Sedert de uitvinding is het toestel op verschillende wijzen veranderd. Men plaatst thans de elementen gewoonlijk naast elkander en geeft aan het toestel ook dikwijls den naam van *galvanische batterij*, dewijl men *galvanische electriciteit* noemt, de electriciteit op deze wijze voortgebracht.

424. **Spanning der kolom, polen, pooldraden, stroomen.** Eene eenvoudige proef doet zien dat in eene *geïscleerde* kolom, met andere woorden, eene kolom die met den grond door geen geleider in verbinding is, het middelste gedeelte zich in den natuurlijken toestand bevindt en dat iedere helft der kolom geheel geladen is, en wel de eene met positieve, de andere met negatieve electriciteit, en dat van weerskanten de spanning van het midden naar het uiteinde toeneemt. De met zink eindigende helft is geladen met positieve electriciteit, en die, welke met koper sluit, bevat negatieve electriciteit. De twee uiteinden, waar de electriciteit zich tracht op te hoopen, noemt men de *polen* der kolom, de een, die met zink eindigt, noemt men *positieve pool*, de andere, die met koper eindigt, noemt men *negatieve pool*. De spanning der electriciteit aan elke pool neemt toe met het getal elementen of paren, maar de proef toont aan, dat ze onafhankelijk is van hunne oppervlakten. Eindelijk noemt men *electroden (pooldraden)* de beide koperen draden, die aan de beide uiteinden der kolom worden bevestigd en moeten dienen om ze met elkander in

verbinding te kunnen brengen, zooals fig. 339 dit duidelijk doet zien.

Zoolang nu de polen niet in aanraking met elkander zijn is de kolom volstrekt onwerkzaam en vertoont geen vreemd verschijnsel. Maar doet men de twee pooldraden elkander naderen, zoodat ze bijna elkander raken, dan ziet men van den eenen draad op den anderen eene kleine vonk overspringen, die veroorzaakt wordt door de herstelling van het verbroken evenwicht der twee polen. Maar hier wordt de kolom nu niet ontladen, zoo als in gelijk geval bij de Leidsche flesch: neen, men ziet eene tweede vonk de eerste opvolgen, vervolgens eene derde de tweede en zoo vervolgens, zoolang de draden dicht bij elkander gehouden worden en de kolom in werking is. Deze aanhoudende opeenvolging van vonken doet zien, dat naarmate de twee electriciteiten der polen zich door de draden vereenigen, eene nieuwe scheiding der electriciteit in de kolom plaats heeft, die zonder ophouden de zinkpool met positieve en de koperpool met negatieve electriciteit voedt. Zoo men nu, in plaats van eene kleine ruimte tusschen de pooldraden te laten, deze in aanraking met elkander brengt, dan houdt het vonken geven op, maar de herstelling der tegenovergestelde electriciteiten gaat desniettemin door de draden voort, eene onophoudelijke beweging van electriciteit heeft nu van de eene naar de andere pool plaats door de draden. Deze onophoudelijke stroom van electriciteit heeft den naam van *stroom* gekregen en om aan te duiden dat de draden, die de twee polen verbinden, onophoudelijk door dien stroom worden doorkruist, heeft men hun den naam gegeven van *electroden* (weg der electriciteit) of ook wel van *réophoren* (dragers van den stroom). In werkelijkheid zijn er twee tegenovergestelde stroomen in de electroden, maar men beschouwt steeds enkel den positieven stroom, dat is die, welke van de positieve pool naar de negatieve gaat. Wij zullen voortaan ook in onze teekeningen de richting van den stroom aangeven door een klein pijltje, gaande van de positieve naar de negatieve pool.

425. **Scheikundige theorie der kolom.** De contact-theorie, voorgesteld door Volta om de voortbrenging van electriciteit in de kolom te verklaren, onderging spoedig hetzelfde lot de levensvloeistof van Galvani. Een landsman van Volta,

Fabroni, was de eerste die de theorie weersprak, door te zeggen, dat de verzuring der zinkschijfjes door het zure water de voornaamste oorzaak was der ontwikkeling van electriciteit in de kolom.

Niet lang daarna ondersteunden Wollaston en Davy in Engeland dezelfde meening en bevestigden haar door vernuftige proeven; eindelijk toonden de la Rive te Genève en Becquerel in Frankrijk, op onwederlegbare wijze aan, dat bij elke scheikundige werking electriciteit wordt voortgebracht en dat wanneer een zuur een metaal aantast, dit laatste negatief en het zuur positief electrisch wordt.

De scheikundige theorie moet alzoo tegenwoordig alleen worden aangenomen; volgens deze theorie moet dus alle electriciteit, die in de boven beschreven kolom, of in een der andere soorten, ontwikkeld wordt, toegeschreven worden aan de werking van het verdunde zuur op het zink van elk element. Zoodat de lapjes laken doortrokken met verdund zwavelzuur, die door Volta werden beschouwd als een geheel lijdelijke rol te spelen, namelijk van de electriciteit van het eene paar tot het andere te geleiden, deze lapjes laken, zeggen wij, integendeel juist de oorzaak zijn die de electriciteit doet ontstaan.

426. **Scheikundige begrippen, noodig voor de theorie der batterijen.** Om hetgeen wij over de batterijen en hare uitwerkselen te zeggen hebben, beter te doen begrijpen, laten wij hier een enkel woord voorafgaan over de allereenvoudigste grondbeginselen der *scheikunde*.

In de scheikunde noemt men *oxyden*, verbindingen van zuurstof en een ander ligchaam, dat over het algemeen een metaal is. Bijv. wij hebben vroeger reeds aangehaald dat de *roest*, die oud ijzer bedekt *ijzer-oxyde* is, eveneens is de roode kleurstof, bekend onder den naam van *menie*, eene verbinding van *lood* en *zuurstof*; de *potasch*, bij den zeepzieder in gebruik, is eene verbinding van *potassium (potaschmetaal)* en *zuurstof*, enz.

De *zuren* zijn eveneens verbindingen van zuurstof met een ander ligchaam, doch dit is dan meestal geen metaal, maar gewoonlijk zwavel, phosphorus, koolstof of eene dergelijke stof; de verbindingen worden genoemd naar de stof die met de zuurstof in verbinding is getreden, zoo als: *zwavelzuur*, *phosphorzuur*, *koolzuur*. De naam *zuur* is afkomstig van den zuren smaak,

dien de eerst bekende dezer stoffen bezitten. Enkele, zoo als bijv. zwavelzuur, zijn uiterst bijtend en tasten de meeste metalen hevig aan, die dan onder opneming van zuurstof er zouten mede vormen.

Eindelijk noemt men *zouten* die ligchamen, die ontstaan uit de vereeniging van een zuur met een metaal-oxyde. Bijv. het zwavelzuur, zich met potasch verbindende, vormt een zout, bekend onder den naam van *zwavelzure potasch*; met het oxyde van koper vormt het *zwavelzuur koper-oxyde;* met het oxyde van zink, *zwavelzuur zink-oxyde*, enz. Salpeterzuur, zich met dezelfde oxyden verbindende, vormt *salpeterzure potasch*, *salpeterzuur koper-oxyde* of *salpeterzuur zink-oxyde;* koolzuur vormt *koolzure potasch*, *koolzuur koper-oxyde* of *koolzuur zinkoxyde.*

427. **Galvanische trog.** Deze batterij, die men verschuldigd is aan Cruikshank, een schot, overleden in 1800, is eene wijziging van de kolom van Volta. In deze laatste doet het gewicht der zinken en koperen schijfjes het aangezuurde water uit de lapjes loopen, en de ontwikkeling van electriciteit wordt werkelijk verzwakt. Om dit verlies te ontgaan heeft men aan de batterij een horizontalen vorm gegeven, die in fig. 340 is voorgesteld. In een houten bak, door vertikale tusschenschotten verdeeld, heeft men vertikaal paren

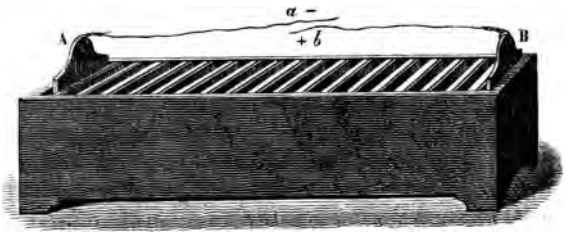


Fig. 340. Galvanische trog.

gesteld van rechthoekige koperen en zinken platen, die aan elkander gesoldeerd zijn en door een isoleerend mastiek aan de wanden van den bak zijn bevestigd. Het figuur 340 stelt 18 van die paren voor, die met elkander en met de eindwanden van den bak 19 cellen vormen, welke men met aangezuurd water vult. Dit aangezuurde water werkt op het

zink der paren en vervangt de lapjes van de kolom van Volta. Bij deze chemische werking wordt het zink van elk paar negatief electrisch en het vocht positief. Midden in dezen trog vereenigen zich de tegengestelde electriciteiten, maar in de uiterste cellen blijft de electriciteit vrij; en om deze op te vangen dompelt men in deze cellen twee roodkoperen platen, waaraan zich draden van hetzelfde metaal bevinden. Een van deze draden komende uit de cel van het laatste zink is de positieve pool, de andere de negatieve.

428. **Batterij van Wollaston.** De beker-batterij, die de engelsche natuurkundige Wollaston uitgedacht heeft is ook eene wijziging van de kolom van Volta. Deze wijziging heeft een tweeledig doel, ten eerste maakt zij de behandeling van de kolom gemakkelijker en ten andere vermeerdert zij de koperoppervlakte, dat is te zeggen van het metaal, dat de positieve electriciteit van het aangezuurde water opzamelt.

Fig. 341 geeft eene vertikale doorsnede van twee paren van de batterij van Wollaston. Hier is het aangezuurde water bevat in glazen bekers B, B, in ieder van welke een paar dompelt. Fig. 342 toont ons hoe een zoodanig paar is samengesteld: het bestaat uit een dikke plaat zink Z en uit een

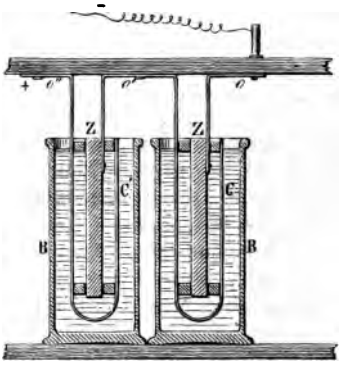


Fig. 341.

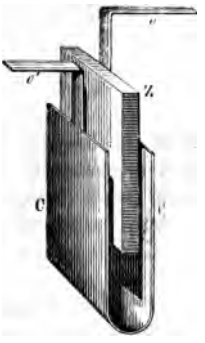


Fig. 342.

reep rood-koper *o*, die verlengd is tot het volgende paar. Een blad rood-koper C C omvat de zinken plaat, zonder dezen evenwel aan te raken, en aan het blad C is een reep

koper gesoldeerd *o*, die weer aan het zink van het vorige paar gesoldeerd is en zoo vervolgens met al de paren.

In fig. 343 zien wij eene batterij van paren. Om de lengte wat te verminderen zijn de bekers in twee rijen van 8 geplaatst. Al de paren zijn door de reepen die hen verbinden aan een houten raam verbonden, dat men naar begeeren tusschen 2 standaards kan op en neer doen gaan.

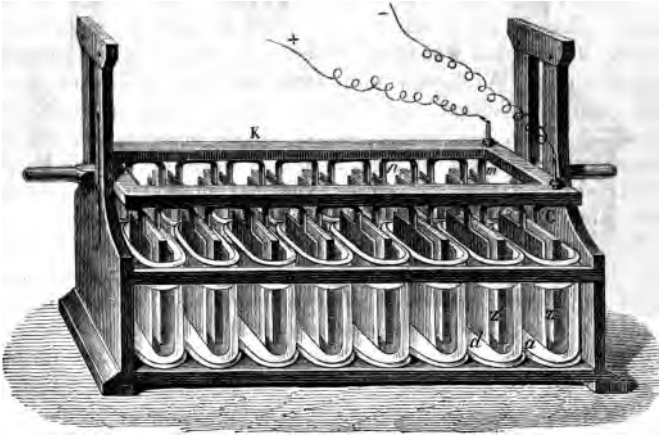


Fig. 343. Batterij van Wollaston.

Wil men de batterij niet meer doen werken, dan ligt men het houten raam op en met dit al de paren. Men kan nu dit raam in de hoogte houden door ijzeren pennen onder de houten handvaten in de standaards te steken.

429. **Koolzink-batterij.** Bij de genoemde batterijen die allen slechts ééne vloeistof (zeer verdund zwavelzuur) bevatten, neemt de sterkte van den stroom zeer snel af. Om die reden zijn zij tegenwoordig niet meer in gebruik, en zijn zij algemeen vervangen door de batterijen van Bunsen en van Daniell, welke, twee vloeistoffen bevattende, stroomen van meer constante sterkte geven.

De *batterij van Bunsen*, of de *koolzink-batterij*, werd in *1843* door Bunsen, thans Hoogleeraar te Heidelberg, uitgevonden.

Ieder element van deze batterij bestaat uit vier stukken: 1° een verglaasd aarden vat A (fig. 344), bevattende verdund zwavelzuur en water; 2° een zinken cilinder B, waaraan een

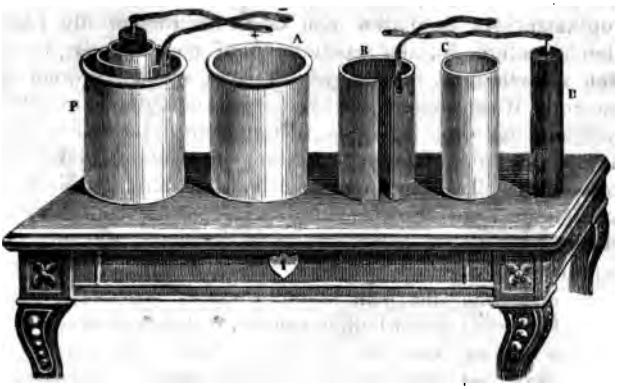


Fig. 344. Koolzink-batterij.

lange smalle reep koper gesoldeerd is; 3° een poreus en voor vochten doordringbaar vat C, van zacht gebakken pijpaarde, hetwelk gevuld is met sterkwater (salpeterzuur); en eindelijk 4° een koolcilinder D, vervaardigd van cokes en een goeden geleider uitmakende. Aan het eene einde der kool wordt een gaatje geboord en daarin een staafje roodkoper bevestigd, waaraan vervolgens een reep van hetzelfde metaal gesoldeerd wordt.

Wil men deze batterij laten werken, zoo plaatst men eerst den hollen zinken cilinder in het verglaasd aarden vat, vervolgens daarin het poreuze vat en eindelijk den koolcilinder, zooals te zien is bij P, links van fig. 344.

Ziehier nu de scheikundige werking, die er plaats heeft: Het zwavelzuur, dat zich in het poreuze vat bevindt, wordt door het zink ontleed; er wordt een zout gevormd, zwavelzuur zink genoemd, dat in het water opgelost blijft zonder den voortgang der scheikundige werking te belemmeren, terwijl de waterstof van het zwavelzuur vrij komt. Nu weet men reeds dat juist ten gevolge van deze werking het zink negatief, en het verdunde zwavelzuur positief electrisch wordt. Bij deze *dubbele ontwikkeling* van electriciteit blijft de ne-

gatieve op het zink, terwijl de positieve electriciteit door het poreuze vat en het daarbinnen aanwezige salpeterzuur zich naar den koolcilinder begeeft. Hierdoor wordt verklaard waarom met den koperen reep, die aan het zink gesoldeerd is, de negatieve pool, en met dien, welke aan den koolcilinder bevestigd is, de positieve pool correspondeert.

Het salpeterzuur in het poreuze vat speelt hier eene voorname rol. Want zonder dit zuur zou een deel van het waterstofgas, dat ook bij de ontleding van het water vrijkomt, zich op de kool afzetten en daar een niet-geleidend laagje vormen, hetwelk, den doorgang der electriciteit in de batterij belemmerende, de sterkte van den stroom aanzienlijk zou verzwakken. Maar het salpeterzuur is oorzaak, dat dit laagje waterstof zich niet op de kool afzet; want het salpeterzuur is een ligchaam, dat gemakkelijk ontleed wordt, zoodat de waterstof, die bij de ontleding van het water vrijkomt, in plaats van zich op de kool af te zetten, zich van een deel der zuurstof van het salpeterzuur meester maakt; hierdoor gaat dit laatste in een ander zuur over, dat minder zuurstof bevat en *ondersalpeterzuur* genoemd wordt, terwijl de waterstof met de aan het salpeterzuur onttrokkene zuurstof weder water vormt, hetwelk den doorgang der electriciteit volstrekt niet hindert. De voornaamste rol van het poreuze vat is, de vermenging van de beide vochten der batterij te beletten, of ten minste uiterst langzaam te maken, terwijl het toch den galvanischen stroom doorlaat.

Om nu sterk werkende stroomen voort te brengen, vereenigt men verscheidene elementen zoo als fig. 345 aantoont, steeds zorg dragende dat het reepje koper, dat aan het zink van elk element gesoldeerd is, altijd in verbinding wordt gebracht met het koper van den koolcilinder van het volgende element, en zoo vervolgens altijd in dezelfde volgorde. Het aantal der elementen, dat men zoodoende vereenigt om eene *batterij* samen te stellen, hangt af van de uitkomst, die men wenscht te verkijgen; het is tot 800 gebracht en men kan dit getal nog ver overschrijden.

430. **Batterij van Daniell.** Daniell, een engelsch scheikundige, vond in 1836 de batterij uit, die naar hem genoemd is. Wij beschrijven haar na die van Bunsen, omdat de theorie er mischien wat moeijelijker van is.

De vorm dezer batterij heeft velerlei afwisselingen ondergaan. Fig. 345 stelt er eene voor van drie elementen, die uitwendig zeer veel gelijken op die van de koolzink-batterij.

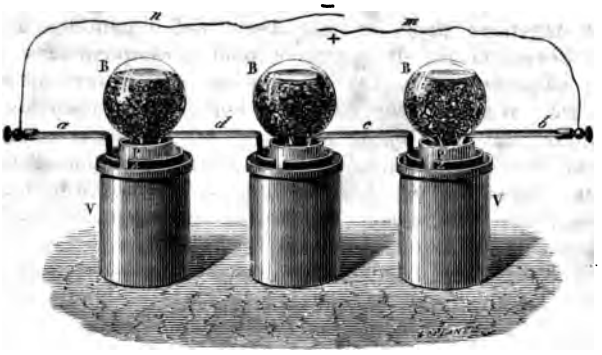


Fig. 345. Batterij van Daniell.

Ieder dezer elementen bestaat uit een vat van glas of aardewerk V, een zinkcilinder Z, een poreus potje P en eene daarbinnen geplaatste koperen plaat, die meestal in den vorm van een cilinder is omgebogen; deze koperen plaat is in de figuur niet zichtbaar.

Het zink is omgeven door verdund zwavelzuur, evenals bij de hierboven beschrevene batterij. Het poreuze potje daarentegen is gevuld met eene *verzadigde* oplossing van zwavelzuur koper-oxyde, dat wil zeggen eene oplossing, die zooveel mogelijk van dit zout heeft opgelost; dit zout komt in den handel voor onder den naam van *blauwe vitriool*. Eindelijk is nog in elk der poreuze potjes de hals van eene omgekeerde glazen kolf B gedompeld, welke gevuld is met kristallen van zwavelzuur koper-oxyde en met eene verzadigde oplossing van dit zout. De verschillende elementen der batterij zijn onderling verbonden door koperen reepen *b*, *c*, *d*, *a*, die aan het eene uiteinde aan het zink van een element gesoldeerd zijn, en aan het andere uiteinde met het koper van het volgende element zijn verbonden.

Gaan wij nu na, hoe deze batterij werkt. Het zwavelzuur in het buitenste vat tast het zink aan, en daardoor ontstaat

reeds een electrische stroom Hierdoor wordt het zwavelzuur ontleed; er wordt zwavelzuur zink gevormd, terwijl de waterstof van het zwavelzuur vrij komt. Tot dus verre is de werking weder dezelfde als bij de boven beschrevene batterij van Bunsen. Maar de waterstof, die bij de ontleding van het zwavelzuur vrijkomt, verhoudt zich nu op eene andere wijze. Die waterstof werkt namelijk op het zwavelzuur koper-oxyde, verplaatst hierin het koper en vormt alzoo weder zwavelzuur.

Het hierbij ontstane zwavelzuur wordt door den stroom, door het poreuze potje heen, naar het zink gevoerd, terwijl het vrij gewordene koper zich op den koperen cilinder afzet, zoodat deze voortdurend in dikte toeneemt.

Terwijl alzoo in het buitenste vat het zwavelzuur telkens vermindert, doordien het zich met zink verbindt, wordt er telkens eene even groote hoeveelheid zwavelzuur door het poreuze potje heen naar het buitenste vat gevoerd, zoodat daarin de hoeveelheid vrij zwavelzuur steeds dezelfde blijft. Het zwavelzuur koper-oxyde daarentegen vermindert steeds; en het is daarvoor, dat de glazen kolf B dient. Uit deze toch zakt de zwaardere, verzadigde oplossing van het zout voortdurend naar beneden, waardoor eene nieuwe hoeveelheid zwavelzuur koper-oxyde in het poreuze potje wordt aangevoerd, terwijl de oplossing in de kolf door de daarin geplaatste kristallen steeds verzadigd wordt gehouden. In plaats van de kolf B kan men ook in het poreuze potje een linnen zakje met kristallen van zwavelzuur koper-oxyde hangen, ten einde de oplossing van dit zout steeds verzadigd te houden.

Bij deze batterij van Daniell scheidt de positieve electriciteit zich af op het koper, de negatieve op het zink.

Deze batterij geeft een galvanischen stroom, die wel niet zoo krachtig is als bij de koolzink-batterij, maar daarentegen veel regelmatiger is wat zijne sterkte aangaat. Wanneer men slechts zorgt, dat de oplossing van het zwavelzuur koper-oxyde voortdurend verzadigd blijft, geeft de Daniellsche batterij gedurende verscheidene maanden achtereen een stroom van constante sterkte. Men gebruikt ze daarom overal, waar men zeer regelmatige uitwerkselen wil verkrijgen, bijv. bij de galvanoplastie, bij het galvanisch verzilveren en vergulden en bij de *telegrafie.*

431. **Amalgameeren van het zink der batterij.** In de batterijen van Daniell en van Bunsen amalgameert men altijd de zinkcilinders, dat wil zeggen, men verbindt de oppervlakte van het zink met kwik. Dit geschiedt door de in verdund zwavelzuur blank gebetene zinkstukken eenige oogenblikken in kwik te dompelen en ze met een borstel of eene wollen lap en wat kwik te wrijven. Het aldus geamalgameerde zink bezit de eigenschap, niet door het verdunde zwavelzuur te worden aangetast, wanneer de stroom niet gesloten is, dat is, wanneer de beide polen der batterij niet door een geleider verbonden zijn. Hierdoor verkrijgt men niet alleen eene aanzienlijke besparing van zink en zwavelzuur, maar de stroom, die ontstaat, is ook veel regelmatiger.

Wanneer de batterij lang gewerkt heeft, wordt het kwik allengs van het zink gescheiden, en het voordeel van het amalgameeren houdt dus langzamerhand op; men zou dus het zink telkens op nieuw moeten amalgameeren. Men kan dit echter voorkomen, door bij elk element in het buitenste vat een weinig kwik te gieten, zoodat de geamalgameerde zinkcilinder met het onderste einde slechts even in het kwik dompelt. Met deze kleine voorzorg blijft het zink voortdurend goed geamalgameerd.

HOOFDSTUK IX.

UITWERKSELEN DER BATTERIJ.

432. **Physiologische verschijnselen.** De uitwerkselen der electrische stroomen verdeelen zich in physiologische, warmteontwikkelende, lichtgevende, scheikundige en magnetische. Allen zijn toe te schrijven aan de wedervereeniging der tegenovergestelde electriciteiten, evenals bij de electriseermachine; maar de uitwerkselen zijn veel merkwaardiger en veel aanzienlijker door de bestendigheid der kracht, die hen voortbrengt.

De physiologische verschijnselen kenteekenen zich door schokken en samentrekkingen der spieren, niet alleen merkbaar bij levende, maar ook bij doode dieren, zoo als men reeds heeft gezien bij de proef van Galvani met den kikvorsch. Wanneer men slechts één der polen van de batterij aanraakt, voelt men volstrekt geen schok, maar zoo men beide polen

aanraakt of men neemt de twee electroden in de handen (fig. 346), dan voelt men een schok, die te vergelijken is bij dien der Leidsche flesch: altijd met dit onderscheid, dat, terwijl men van de laatste niet meer dan één schok kan ontvangen zonder haar op nieuw te laden, men van de batterij daarentegen zonder ophouden schokken kan verkrijgen. Dit verschijnsel wordt verklaard door de gestadigheid der scheikundige werking in de batterij, die telkens weder nieuwe electriciteit

Fig. 346. Schokken door de batterij voortgebracht.

aan iedere pool doet ontstaan om diegene te vervangen, die zich vereenigd heeft door middel der electroden en het ligchaam van den proefnemer.

Jean Aldini, neef van Galvani, heeft het eerst de werkingen bestudeerd, die de galvanische stroom op doode dieren uitoefent. In het begin dezer eeuw te Parijs gekomen zijnde, herhaalde hij vele zijner proeven in het groot aan de veeartsenijkundige school te Alfort, in de nabijheid van Parijs. Daar men een ossenhoofd, van den romp afgesneden, en op

een ontleedkundige tafel gelegd, nadat de stroom was aangelegd, de oogen openen en ze in woede ronddraaijen, de neusgaten werden opgeblazen, de ooren schudden even alsof het beest levend was en zich op een gevecht voorbereidde. Op eene andere tafel werden de aanwezigen gewond en de naastbijzijnde toestellen gebroken door het slaan der pooten van een dood paard.

Later kochten eenige physiologen in Engeland van een ter dood veroordeelden misdadiger zijn eigen lijk (in dat land een niet ongewone koop), ten einde daarmede electrische proeven te doen, alsmede met het menschlievende doel om den gehangene in het leven terug te roepen en vervolgens voor zijne zedelijke verbetering zorg te dragen. Het resultaat dezer proeven was verschrikkelijk. Het lijk keerde niet tot het leven terug, maar er ontstond eene hevige en zeer onregelmatige ademhaling, de oogen openden zich, de lippen bewogen zich, en het gelaat van den booswicht, in het geheel niet meer aan den wil onderworpen, vertoonde zulke vreemde en vreeselijke trekken, dat een der toeschouwers er flauw door viel en eerst na verloop van verscheidene dagen geheel van den schrik bekomen was.

433. **Warmteverschijnselen.** De warmtegevende verschijnselen bestaan in het voortbrengen van een verhoogde temperatuur van de ligchamen, waardoor een galvanische stroom gevoerd wordt. Wanneer men den stroom door metalen draden of dunne blaadjes laat gaan, dan ziet men ze oogenblikkelijk niet alleen gloeijen, maar de verhooging van temperatuur kan zoo stijgen, dat de metalen smelten en zelfs vervluchtigen, zoo de stroom maar sterk is. IJzerdraad brandt op deze wijze met schitterend licht, zilver met een groenachtig licht en veel damp afgevende, afkomstig van de vervluchtiging; het goud brandt met een wit blauwachtig licht, het platina, dat voor korten tijd in geen vuur gesmolten kon worden, smelt en vormt zich onder het verspreiden van een schitterend licht tot kogeltjes, als de stroom er door wordt geleid. Despretz heeft op deze wijze in eenige minuten 250 wichtjes platina gesmolten met eene batterij van 600 paren. De koolstof is het eenige ligchaam, dat tot nog toe niet is kunnen gesmolten worden. Intusschen is het denzelfden natuurkundige gelukt, om door middel van den galvanischen

stroom staafjes geheel zuivere kool zoodanig te verweeken, dat ze gebogen zijn en men ze aan een kon voegen; iets dat een begin van smelten genoegzaam aantoont.

434. **Lichtverschijnselen.** De boven beschreven warmteverschijnselen zijn steeds vergezeld van eene min of meer sterke lichtuitstraling. Maar om door middel van den galvanischen stroom zoo veel licht mogelijk te verkrijgen, maakt men gebruik van staafjes goed uitgegloeide kool of cokes, die men

Fig. 347. Electrische verlichting.

eerst in aanraking met elkander brengt en daarna de een met *positieve* pool en de andere met de negatieve pool eener

sterke batterij in verbinding brengt. (fig. 347). Zoodra de stroom gesloten is, worden de twee koolspitsen gloeijend en geven zulk schitterend licht af, dat men er niet in kan zien. Zoo men alsdan de beide koolspitsen een weinig van een zet blijven de beide electriciteiten zich in de tusschenruimte vereenigen, en er vertoont zich in deze ruimte een schitterende lichtboog, dien men den naam van *Voltaschen* of *galvanischen lichtboog* geeft en die eene lengte kan bereiken van 7 centimeters, zoo de batterij uit 600 cellen bestaat. Bij deze proef ziet men de positieve kool uitgehold worden en sterk verminderen, terwijl de negatieve kool hoewel ook verbrandende niet zoo sterk in lengte afneemt; waaruit men besluit, dat de kool van de eerste naar de tweede pool wordt overgebracht. Tevens verklaart dit waarom de stroom blijft doorgaan, niettegenstaande de ruimte, die de twee koolspitsen scheidt.

De sterkte van het electrisch licht is verbazend Vergeleken bij het licht van waskaarsen, heeft men gevonden dat 48 kleine cellen van Bunsen evenveel licht geven als 572 waskaarsen, en 46 sterkere cellen hebben een licht voortgebracht, dat gelijk stond met een vierde van het zonlicht. Het electrische licht is zoo sterk, dat het door 100 cellen voortgebrachte licht de oogen zeer pijnlijk aandoet en dat van 600 cellen is genoegzaam om in een oogenblik hevige hoofdpijn en oogontsteking te veroorzaken; tevens wordt het gelaat verbrand evenals door een sterken zonnegloed. Het is Foucault, die in 1844 het eerst het electrisch licht heeft toegepast bij den zonmicroscoop om het zonlicht te vervangen. Sedert dien tijd zijn vele proeven genomen om dit licht tot algemeene verlichting te doen dienen, hetzij bij groote feesten, hetzij in uitgestrekte werkplaatsen, hetzij in schouwburgen om theater-effect voort te brengen

Figuur 347 stelt de wijze van electrische verlichting getrouw voor. De batterij is in het inwendige van een ijzeren voetstuk geborgen; op een ijzeren kolom, hierop rustende, zijn de twee koolspitsen aangebracht, en deze elk afzonderlijk door middel van door gutta percha geïsoleerde draden met de polen der batterij verbonden

435. **Scheikundige werkingen; ontleding van het water.** De scheikundige werkingen der batterij bestaan in scheiding en verplaatsing der elementen van de stoffen, waardoor de

stroom geleid wordt. De eerste ontleding door middel van den stroom is die van water geweest, in 1800, door twee engelsche geleerden, Carlisle en Nicholson. Om deze proef

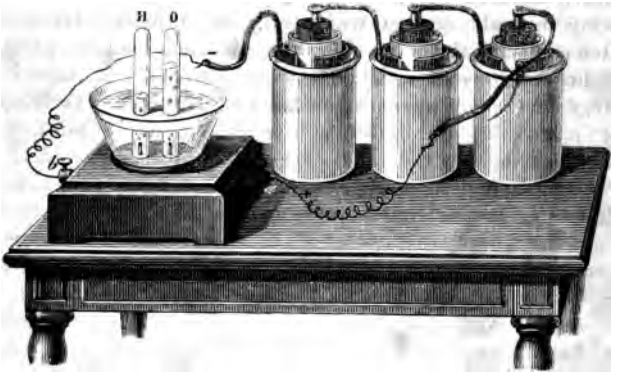


Fig. 348. Ontleding van het water door den stroom.

te herhalen, neemt men een toestel zooals in fig. 348 is afgebeeld.

Het toestel bestaat uit een kom of glas, dat met mastiek op een houten voetstuk bevestigd is. Door den bodem van dit vat steken twee platinadraden, die gemeenschap hebben met twee koperen klemschroeven, aan weerszijde van het houten voetstuk geplaatst. Na het glas gevuld te hebben met water, waarin een weinig zwavelzuur is gedaan, plaatst men twee met dat water gevulde klokjes of reageerbuisjes O en H over de platinadraden, vervolgens bevestigt men de twee pooldraden van eene batterij, bestaande uit 3 à 4 elementen, in de klemschroeven *a* en *b*. Terstond gaat de stroom van de eene electrode naar de andere door het water en ter zelfder tijd begint de ontleding, hetgeen men daaraan ziet dat overvloedige gasbellen van het platina ontsnappen en in de glazen klokjes opstijgen.

Bij een onderzoek dezer verkregen gassen blijkt vervolgens dat het klokje O, waarin de positieve pool reikt, niets bevat *dan zuurstof* en het andere H niets dan waterstof; verder dat *het volume* van dit laatste het dubbel is van het eerste.

Deze proef toont dus aan dat het water bestaat uit twee volumina waterstof en één zuurstof.

436. **Ontleding van metaal-oxyden en zouten.** De galvanische stroomen oefenen op de metaal-oxyden en de zouten dezelfde werking uit als op het water. Bij de ontleding der mataal-oxyden is het altijd de zuurstof, die zich naar de positieve pool begeeft, evenals bij het water, terwijl het metaal aan de negatieve pool wordt afgescheiden. Hetzelfde verschijnsel heeft plaats bij de ontleding der zuren; de zuurstof wordt weder aan de positieve pool en het andere bestanddeel aan de negatieve pool afgescheiden. Bij de zouten doen zich verschillende gevallen voor; nu eens worden de zuren en oxyden eenvoudig van een gescheiden zonder dat een van beiden verder ontleed wordt en dan wordt het zuur aan de positieve en het oxyde aan de negatieve pool afgescheiden: dan eens wordt niet alleen het zuur en het oxyde gescheiden, maar het laatste wordt verder ontleed; in dit geval wordt het zuur met de zuurstof van het oxyde aan de positieve en het metaal afzonderlijk aan de negatieve pool afgescheiden. Dit laatste geval heeft een uitgebreide toepassing in de nijverheid gekregen, waarover straks onder het artikel galvanoplastie (437) gehandeld zal worden.

Het was Davy, een uitstekend engelsch natuurkundige, die het eerst in het begin dezer eeuw door den stroom potasch, soda, baryt, kalk, magnesia, aluinaarde, enz. ontleedde en deed zien, dat deze zelfstandigheden, die men toen als enkelvoudige ligchamen aanzag, samengesteld zijn uit zuurstof en metalen, die van toen af in de wetenschap zijn opgeteekend onder de naam van *potassium*, *sodium*, *baryum*, *calcium*, *enz.*

De schitterende ontdekking van Davy maakte opgang in de geschiedenis der wetenschap; ook in Frankrijk werd zij naar waarde geschat, en er viel daar het volgende voor, dat duidelijk doet uitkomen hoe de wetenschap de verschillende natiën, zelfs de naijverigste, tracht te verbroederen In 1802 had Napoleon, toen eerste consul. het gewicht der Voltasche zuil inziende, twee prijzen uitgeloofd: den eenen van 3000 francs „voor de beste ontdekking in den loop van elk jaar gedaan betrekkelijk de galvanische electriciteit," den anderen van 60,000 francs „aan den natuurkundige, die de Voltasche electriciteit eene schrede voorwaarts deed gaan, zooals de we-

tenschap een voorbeeld had in de werken van Franklin en Volta." Deze tweede prijs werd nimmer uitgereikt, maar in 1808, juist toen er tusschen Frankrijk en Engeland een hardnekkige oorlog gevoerd werd, kende het Fransche instituut den prijs van 3000 fr. aan Davy toe voor zijne schoone ontdekkingen, en deze som werd uit naam van Napoleon van Parijs naar Londen gezonden om Davy ter hand te worden gesteld.

TOEPASSING VAN DE ONTLEDINGEN DOOR EEN STROOM VEROORZAAKT.

437. **Galvanoplastie.** Bij de gewone vervaardiging van beeldjes, basreliefs en andere dergelijke zaken in metaal maakt men vormen van aarde, die nauwkeurig de voorwerpen hol voorstellen; vervolgens giet men hier gesmolten metaal of brons in, en wanneer de metalen zijn afgekoeld dan verkrijgt men in relief juist hetzelfde voorwerp dat de vorm hol voorstelde. Bij de bewerking der galvanoplastie behoeft men nu nog wel een vorm van het voorwerp te maken, maar de afdruk hiervan geschiedt zonder behulp van vuur of smelten: het is de galvanische stroom, die op eene getrouwe afbeelding van een voorwerp langzamerhand een min of meer dikke laag metaal doet afzetten. Dit beteekent dan ook het woord *galvanoplastie*, dat gevormd is van *galvanismus* en een Grieksch woord dat *vormen* beteekent. Deze kunst is gelijktijdig ontdekt door *Spencer* te Londen en *Jacobi* te Petersburg in 1838, alzoo één jaar voor de uitvinding der daguerreotypie. Uit hetgeen voorafgegaan is blijkt dat de handelwijze der galvanoplastie uit twee verschillende bewerkingen bestaat: 1°. de vervaardiging van den vorm of afdruk der te maken voorwerpen, 2°. het voortbrengen van een laagje metaal in dien vorm. Het eerste punt is het belangrijkste en datgene, waarvan bijna alleen het goed of slecht slagen der bewerking afhangt. De verschillende stoffen, die dienen om afdrukken te nemen, zijn zegel-was, witte was, gips en vooral gutta-percha, een plantaardig voortbrengsel, dat sedert eenige jaren tot vele doeleinden gebezigd is. Deze zelfstandigheid, die bij de gewone temperatuur vast is, wordt week en zeer vormbaar bij *een weinig* verhoogde temperatuur; het is hiertoe genoegzaam

ze een korten tijd in heet water te laten liggen. Is ze zoodoende behoorlijk week geworden, dan vormt men er een plaatje van, legt dat op het af te drukken voorwerp en onderwerpt beide aan eene zoo sterke drukking dat zelfs de zwakste omtrekken in de gutta percha zijn afgedrukt. Is alles tot de gewone temperatuur afgekoeld dan wordt het model, zoo het van metaal is geweest, er gemakkelijk afgenomen; maar is het model daarentegen eene gravure op hout, of wel van gips of gebakken aarde geweest, dan hangt de gutta percha er zoo aan, dat ze moeijelijk te verwijderen is, zonder vorm of model te beschadigen. Men voorkomt dit ongerief door op het af te drukken voorwerp een dun laagje potlood te brengen; men doet dit met een zachten schuijer en neemt heel fijn potlood. De ware naam van potlood is *graphiet*, eene minerale zelfstandigheid, die niet anders is dan bijna zuivere koolstof, tevens is deze stof een zeer goede geleider der electriciteit. Veronderstellen wij, dat het na te maken voorwerp eene medaille is; is de vorm

Fig. 349.

Fig. 350.

Afdruk voor de galvanoplastie.

eenmaal verkregen (fig. 349) dan heeft men de medaille, voorgesteld in (*fig.* 350), hol en omgekeerd.

Er rest nu den afdruk geleidend te maken, want de gutta percha, een isoleerende stof zijnde, zou den stroom der batterij niet door laten gaan. Dit wordt nu alweder door het potlood verholpen; hiertoe, wordt door middel van een zachten schuijer of penseel de vorm, vooral waar men een afzetsel van metaal verlangt, met potlood bestreken, vervolgens hecht men aan den afdruk drie koperen draden, een dienende om hem in het metaalhoudende bad op te hangen, de twee anderen om den stroom van den eersten draad op de gepotloode oppervlakte te geleiden. De vorm is alsnu geschikt om het metaal, dat men er op wil nederzetten te ontvangen; het is gewoonlijk koper, een enkele maal zilver of goud, allen metalen, die zich zeer goed voor dit doel laten bezigen. Voor het koper neemt men een verzadigd bad van zwavelzuur koper-oxyde, dat is met andere woorden: het bevat zooveel van dit zout als het water opgelost kan houden; vervolgens brengt men de twee polen der batterij in verbinding met

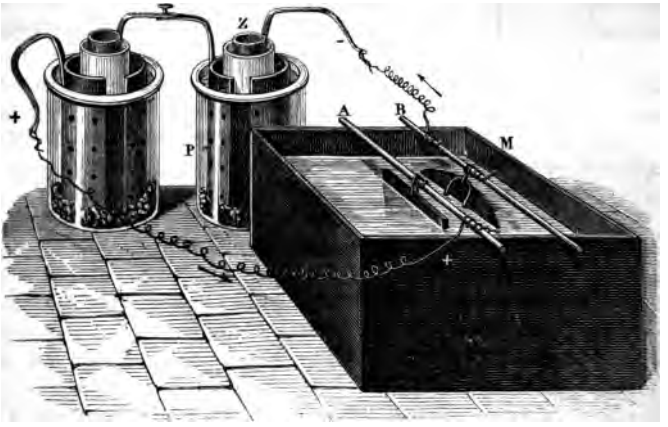


Fig. 351. Toestel voor de galvanoplastie.

twee metalen staafjes, die boven over het bad liggen (fig. 351), men hangt den vorm aan dat staafje, dat met de negatieve *pool in* verbinding is, en aan het andere staafje hangt men *een plaatje* rood koper, omtrent even groot als de afdruk.

Wat de batterij betreft, deze bestaat uit 2 tot 5 elementen van Daniëll; men geeft aan deze in de galvanoplastie boven die van Bunsen de voorkeur, uithoofde van de meerdere standvastigheid harer werking.

De elementen der Daniëlsche batterij, in de nevensgaande figuur (fig. 351) afgebeeld verschillen een weinig van de vroeger beschrevene bij fig. 345. Hier staan de zink-cilinders binnen de poreuze potjes, en de cilinders van rood koper, omgeven door de verzadigde oplossing van zwavelzuur koper-oxyde, zijn uitwendig geplaatst. De oplossing wordt voortdurend verzadigd gehouden door eenige kristallen van het zout, die op den bodem van het buitenste vat liggen. Overigens is de werking volkomen dezelfde als bij de vroeger beschrevene inrichting.

Wij kunnen nu overgaan tot de beschouwing van den stroom, die van het staafje A naar het staafje B overgaat, terwijl hij de koperhoudende vloeistof in de kuip M doorgaat: niet alleen wordt het zwavelzuur koper-oxyde ontleed in zuur en oxyde, maar ook het oxyde wordt ontleed en wel in zuurstof en metaal, hier koper. Nu worden door deze dubbele ontleding, het zwavelzuur en de zuurstof aan de positieve pool afgescheiden, terwijl het koper zich alleen aan de negatieve afzet, alwaar het zich langzamerhand op den geleidend gemaakten afdruk afzet. Na verloop van twee dagen is het koper reeds stevig genoeg om het van den vorm te kunnen afnemen en men heeft dan een fac-simile van eene zuiverheid en volmaaktheid, die onovertrefbaar zijn. Maar waartoe dient nu de plaat rood koper, die in het bad aan de positieve pool bevestigd is? kan men vragen. Zie hier het nut: deze dient vooreerst klaarblijkelijk om den stroom te geleiden; maar daarenboven, naarmate dat de zuurstof en het zwavelzuur vrij worden, vereenigen zij zich met het koper der plaat, vormen zoo weder zwavelzuur koper-oxyde en wel juist zooveel als er ontleed wordt; alzoo blijft de vloeistof in het bad altijd op denzelfden graad van concentratie, dat is met andere woorden, de vloeistof bevat zoodoende steeds evenveel koperzout in oplossing en kan alzoo oneindig lang gebruikt worden, zoo men slechts zorgt van tijd tot tijd de rood koperen plaat te vernieuwen.

438. ***Vergulden en verzilveren door den stroom.*** De galva-

nische vergulding en verzilvering hebben veel overeenkomst met de galvanoplastie, waarvan ze slechts in zooverre verschillen, dat, in plaats van de metalen zich op of in een vorm te doen nederzetten om gegeven voorwerpen na te maken, ze hier bij deze bewerking de voorwerpen zelve slechts met eene dunne laag goud of zilver overtrekken.

Men behoeft hier geene vormen te vervaardigen, zooals bij de galvanoplastie, maar de metalen voorwerpen, die men vergulden of verzilveren wil, moeten vooraf aan twee bewerkingen worden blootgesteld en de grootste zorg moet aan deze besteed worden; het zijn *de verhitting* en *het schoonmaken*.

De verhitting bestaat in het verwarmen der voorwerpen boven gloeijende houtskolen om alle vetdeeltjes, die aan hunne oppervlakten zijn kunnen blijven kleven, te ontleden. Tijdens deze bewerking zijn de voorwerpen, die over het algemeen van koper zijn, aan hunne oppervlakten geoxydeerd en men verwijdert dit oxyde, voor een groot deel ten minste, door het schoonmaken, eene bewerking die bestaat in de nog warme

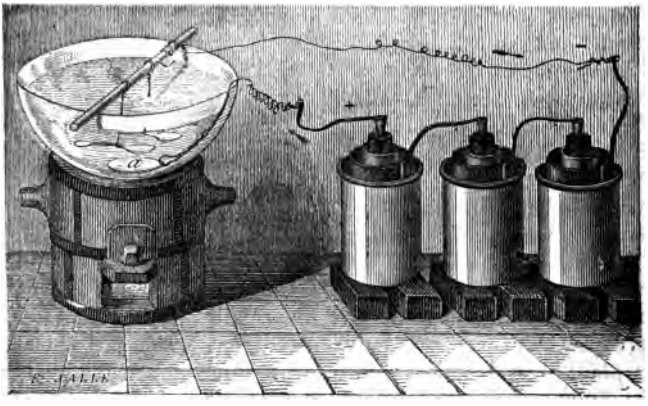


Fig. 352. Verzilvering door de galvanische batterij.

voorwerpen in verdund zwavelzuur te dompelen: ze met een harden borstel af te wrijven en af te spoelen. Nog is de oppervlakte niet schoon genoeg; men maakt ze nog eens schoon op de volgende wijze: men dompelt de voorwerpen in gewoon

salpeterzuur, *sterkwater* genaamd, daarna in salpeterzuur, waarin eenig keukenzout en roet is opgelost, vervolgens wascht men ze met veel water af en droogt ze in zaagsel.

De voorwerpen, zooverre gereed zijnde, moeten verguld of verzilverd worden. Veronderstel dat ze verzilverd moeten worden, dan hangt men de schoone voorwerpen aan de negatieve pool eener koolzink-batterij van 3 à 4 elementen (fig. 352) en men dompelt ze in een zilverhoudend bad, dat op 60° of 80° verhit wordt. Eindelijk bevestigt men aan de positieve pool een plaatje zilver *a*, dat zich oplost naarmate er zilver door den stroom op de voorwerpen wordt nedergeslagen; men houdt zoodoende het vocht op een bepaald zilvergehalte. Het zilverzout, dat men in het bad gebruikt, is meestal eene dubbelverbinding van cyanzilver en cyanpotassium; namelijk een zout dat bestaat uit de twee metalen, zilver en potassium en uit cyanogenium, een gasvormig ligchaam, dat uit koolstof en stikstof bestaat. De dikte der zilverlaag, die zich op de voorwerpen afzet, hangt af van den tijd, dien zij in het vocht blijven, en van de sterkte van den stroom.

Om met den stroom te vergulden zijn de bewerkingen volmaakt gelijk aan die van de verzilvering, alleen moet men gebruik maken van eene goudhoudende vloeistof en aan de positieve paal van een plaatje goud. Het goudzout, dat men in het bad oplost, is gewoonlijk eene dubbelverbinding van cyangoud en cyanpotassium.

De vergulding en verzilvering hebben een geheel nieuwen tak van nijverheid in het leven geroepen. Brugnatelli, leerling van Volta, heeft in 1803 reeds twee zilveren medailles op deze wijze verguld; maar hiermede was alles afgeloopen. Het was de la Rive te Genève, die het eerst, in 1840, eene wijze aanwees om door middel van den stroom te vergulden en tevens het groote nut deed uitkomen, dat men van den galvanischen stroom voor de vergulding en verzilvering der metalen kon verwachten. Intusschen gaven de baden en de toestellen, waarvan hij zich bediende, geen duurzame vergulding, en vooral ging er veel edel metaal verloren. Aan het einde van dat zelfde jaar raadde Elkington, een Engelschman, het gebruik aan van cyangoud en cyanpotassium voor het bad. Eindelijk vond Ruolz, eenige maanden later, nieuwe vloeistoffen om te verzilveren, verplatineeren enz. en het ge-

lukte hun eene menigte metalen te vergulden en te verzilveren. Octrooijen zijn sedert dien tijd veel genomen en de bewerking wordt op groote schaal uitgevoerd, maar men heeft helaas al te veel vergeten, het groote deel van de eer der uitvinding, dat met recht aan den uitstekenden natuurkundige te Genève toekomt.

HOOFDSTUK X.

ELECTRO-MAGNETISME.

439. **Verband tusschen magnetisme en electriciteit.** Reeds vroeg nam men eene analogie waar tusschen de electrische en de magnetische vloeistoffen, namelijk deze, dat bij de magnetische, evenals bij de electrische, de gelijknamige elkander afstooten en de ongelijknamige elkander aantrekken. Verder had men ook opgemerkt, dat, bij het slaan van den bliksem in een schip, dikwijls de polen der kompasnaalden werden omgekeerd, ja zelfs somwijlen, dat haar alle magnetische eigenschappen ontnomen werden. Maar al vond men hier ook punten van overeenkomst tusschen magnetisme en electriciteit, van eene andere zijde bezien vond men ook geheel afwijkende verschijnselen: bijv. de magnetische vloeistof plant zich niet, gelijk de electrische, door geleidende ligchamen voort. Brengt men een magneet in aanraking met den grond, dan keert hij niet tot den neutralen toestand terug, als in gelijk geval een geëlectriseerd ligchaam. Eindelijk, de electriciteit kan men bij alle ligchamen waarnemen; terwijl het magnetisme zich slechts bij een zeer klein aantal stoffen openbaart. Men vond overeenkomst en verscheidenheid, en de identiteit der oorzaken van de electriciteit en van het magnetisme kon men niet aantoonen, tot dat Œrsted, hoogleeraar in de natuurkunde te Koppenhagen, omstreeks het einde van 1819 eene belangrijke ontdekking deed, die voor altijd het magnetisme aan de electriciteit op het innigst verbond. De ontdekking van dezen beroemden natuurkundige werd onder de handen van Ampère en Faraday de bron van een geheel *nieuwen* tak der natuurkunde, welke den naam van *electromagnetisme* verkregen heeft, om aan te duiden, dat de ver-

schijnselen, welke hij leert kennen, zoowel behooren op het gebied van het magnetisme als op dat van de electriciteit.

440. **Werking van stroomen op magneten.** Reeds talrijke proeven had Œrsted genomen om den band op te sporen, die, naar zijne meening, moest bestaan tusschen het magnetisme en de electriciteit, toen hij vond dat de electrische stroomen, „eene richtende kracht uitoefenen op de magneetnaald, en altijd trachten haar loodrecht te brengen op hun eigen richting."

Hoe wij dezè werking der stroomen op de magneten aantoonen, doet ons fig. 353 zien. Men brengt bij eene beweegbare magneetnaald, die in de richting van den magnetischen meridiaan in evenwicht is, een draad waardoor een stroom gaat: zorg dragende, dat men hem in de lengterichting boven de naald brengt. Men ziet nu, dat de naald uit haren evenwichtstoestand geraakt, dat zij slingeringen maakt en eindelijk in rust komt in eene richting nagenoeg loodrecht op die van

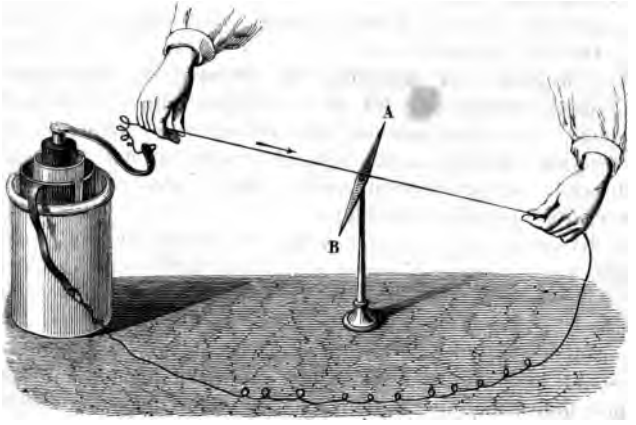


Fig. 353. Richtende kracht der stroomen op magneten.

den stroom: wij zeggen nagenoeg loodrecht, omdat het aardmagnetisme steeds de naald in hare eerste richting tracht terug te brengen (zie 369).

In de proef van Œrsted is de richting, in welke de noordpool *afwijkt, afhankelijk* van den stroom: gaat deze van het

zuiden naar het noorden, boven de naald, dan wijkt de noordpool naar het westen af; gaat hij integendeel van het noorden naar het zuiden, altijd boven de naald, dan wijkt genoemde pool ten oosten af. Gaat eindelijk de stroom onder de naald door, dan vinden wij weder dezelfde verschijnselen, maar in tegengestelden zin.

441. **Regel van Ampère.** Ampère, aan wien men de ontdekking van de meeste electro-magnetische verschijnselen verschuldigd is, heeft eene eenvoudige wijze aan de hand gedaan om te vinden, welke de richting zal wezen volgens welke de magneetnaald zal uitslaan. Hij stelt zich voor, dat de waarnemer in den draad ligt, door welken de stroom gaat, in dier voege, dat hij het aangezicht steeds naar de naald keert en dat de stroom door zijne voeten in- en door zijn hoofd weder uitgaat. Dan zal steeds de noordpool naar de linkerzijde van dien waarnemer afwijken. Verpersoonlijkt men den stroom, dan kan men alle omstandigheden in deze woorden samenvatten: *Beweegt de waarnemer zich met den stroom mede, het aangezicht naar de naald gekeerd, dan wijkt de noordpool steeds naar de linkerzijde af.*

442. **Werking van magneten op stroomen en van stroomen op stroomen; solenoïden.** Na de ontdekking van Œrsted deden vele natuurkundigen proeven om nog meerdere overeenkomst tusschen electriciteit en magnetisme te vinden. Ampère vooral leerde eene menigte verschijnselen kennen, waarvan wij alleen de volgende zullen vermelden:

1°. Evenals de stroomen eene richtende kracht op de magneten uitoefenen, oefenen deze eene richtende kracht op de stroomen uit. Om dit aan te toonen windt men een koperdraad cirkelvormig op; men bevestigt aan de uiteinden twee stalen punten, die in twee kwikbakjes indompelen, zie fig. 354; deze beide kwikbakjes zijn door armen aan twee koperen kolommen verbonden en zoo weer met de batterij: men heeft dus een beweegbaren draad, waardoor onafgebroken een stroom kan gaan. Is deze draad in rust en brengt men onder hem eene sterke magneetstaaf, dan ziet men: „den draad draaijen en eindelijk stilstaan in eene richting loodrecht op de staaf;" deze proef is de wederkeerige van die van Œrsted.

2°. De aarde, die als een groote magneet op de magneet*naalden* werkt, werkt op dezelfde wijze op de beweegbare

stroomen, dat is te zeggen: „Zij richt ze loodrecht op den magnetischen meridiaan." Wij toonen dit ook met het hierboven afgebeelde toestel aan. Om dit te doen plaatst men den draad, als de stroom nog niet doorgaat, in de richting

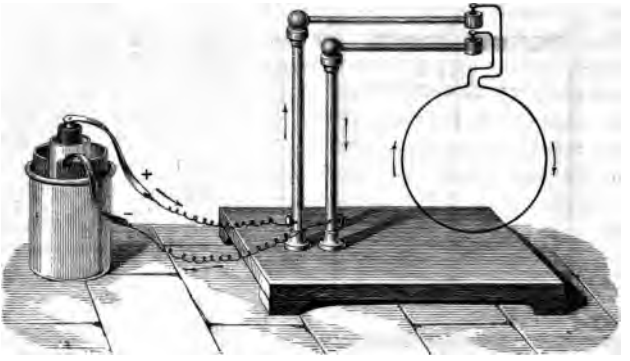


Fig. 354. Richtende kracht der aarde op de stroomen.

van den magnetischen meridiaan, en brengt daarna de twee polen van de batterij in verbinding met de twee koperen kolommen; dadelijk ziet men den draad draaijen en zich juist loodrecht plaatsen op zijne vorige richting, terwijl de stroom zich nu in het onderste gedeelte van den draad beweegt in eene richting van oost naar west.

3°. Ampère liet niet alleen magneten en het magnetisme der aarde op stroomen werken; hij beproefde ook of deze stroomen zelve op elkander eenigen invloed uitoefenden, en vond dat „twee evenwijdige stroomen, als zij in gelijke richting loopen, elkander aantrekken: en elkander afstooten als zij in tegengestelde richting loopen."

Om deze wet aan te toonen maakt hij gebruik van het toestel voorgesteld in fig. 355. Op een houten plankje zijn twee koperen kolommen A en B bevestigd, die bovenaan door een dwarsplankje verbonden zijn. In het midden van dit plankje vindt men cene koperen klemschroef *a* en hieronder een koperen bakje *o*, waarin zich kwik bevindt om eene electrische geleiding te maken. In deze vloeistof dompelt *een ijzeren puntje*, dat bevestigd is aan een roodkoperen

draad. Deze draad is eenige malen omgebogen, en wel zoo, dat hij neergaat langs kolom A, opgaat in het midden en weer daalt langs kolom B, om te eindigen in een kwikbakje C.

Laten wij nu een stroom van 4 of 5 Bunsensche elementen intreden bij den voet van kolom A, dan gaat hij *op* in deze kolom, komt door een koperdraad in *a*, daalt in het kwikbakje *o* en doorloopt den draad in de richting der pijltjes, komt eindelijk in het kwikbakje C en vandaar begeeft hij zich door een koperen reep naar den voet van kolom B, klimt hierin op en geraakt weer naar het Bunsensche element. Dadelijk wanneer de stroom intreedt, verwijdert zich de draad van de kolommen, en stelt hij zich na eenige schommelingen loodrecht op zijne vorige richting. Wij zien hier dus uit dat twee evenwijdige stroomen, wanneer zij in tegengestelde richting loopen, elkander afstooten.

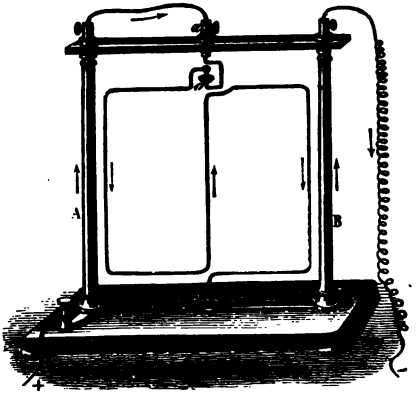


Fig. 355.

4°. Eindelijk had ook genoemde geleerde de gelukkige gedachte, om den draad, dien wij in fig. 354 voorstelden, als het ware te vermenigvuldigen, door hem eenige malen schroefvormig om te winden, zooals fig. 356 ons doet zien: hij gaf aan dit toestel den naam van *solenoïde*. Wanneer deze solenoïde geplaatst wordt op de kwikbakjes van het toestel, dat wij straks reeds voor de beweegbare stroomen gebruikten (zie fig. 354), dan 'n, dat zij door de aarde gericht wordt, juist alsof magneetnaald ware. Nog meer, nadert men met eene

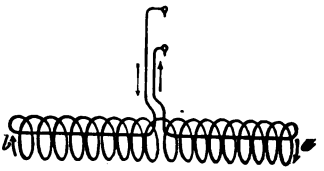


Fig. 356. Solenoïde.

der polen van eenen magneet, dan wordt hetzelfde uiteinde der solenoïde aangetrokken, dat door de andere pool wordt afgestooten. Nadert men de solenoïde met een andere, waardoor ook een stroom gaat, dan neemt men aan hare uiteinden, hare *polen*, juist dezelfde aantrekkingen en afstootingen waar, als bij de polen van magneten.

443. **Ampère's theorie van het magnetisme.** Toen Ampère de verschijnselen leerde kennen, die wij hierboven beschreven hebben, grondde hij hierop eene theorie, die het magnetisme en de electriciteit tot eene zelfde oorzaak terug brengt. In plaats van de magnetische verschijnselen te verklaren uit het bestaan van twee vloeistoffen, heeft Ampère ze verklaard uit het bestaan van electrische stroomen, die zich om de moleculen der magnetische stoffen bewegen, in vlakken loodrecht op de as der magneten, dat is op de lijn die hunne beide polen vereenigt. Bij gevolg zijn de aantrekkingen en afstootingen tusschen de polen der magneten niet anders dan een gevolg van de wederkeerige werking van stroomen op stroomen, al naarmate zij in dezelfde of in tegengestelde richting loopen. Wat de richtende werking der aarde op magneten en beweegbare stroomen aangaat, Ampère heeft haar verklaard door aan te nemen, dat om de aarde stroomen loopen evenwijdig aan den aequator van Oost naar West. Het zijn deze aardsche stroomen, die de kompasnaalden richten, de reeds genoemde ijzerertsen magnetisch maken en de beweegbare stroomen richten loodrecht op den magnetischen meridiaan, dat is evenwijdig aan hunne eigene richting. Deze stroomen hebben in deze theorie de afwisseling van temperatuur tot oorzaak, die op de oppervlakte der aarde ontstaat door de opeenvolging van dag en nacht.

444. **Multiplicator of galvanometer.** De richtende kracht der stroomen op de magneetnaald, door Œrsted ontdekt, leidde Schweigger, te Halle, tot het samenstellen van een galvanischen electroscoop, die uiterst gevoelig is. Aan dit werktuig geeft men den naam van *multiplicator*, omdat het dient om de richtende kracht van den stroom te vermeerderen. Men noemt het ook *galvanometer*, omdat het de galvanische electriciteit meet, of *rheometer* omdat het de stroomen meet.

Om de theorie van dit instrument te begrijpen, zullen wij het geval veronderstellen, dat de stroom niet alleen over

de naald als in fig. 353, maar ook *onder* haar heengaat, zooals wij zien in fig. 357. De werking wordt dan verdubbeld, want in plaats van éénen stroom, hebben wij er nu twee, die evenzeer de noordpool naar denzelfden kant trachten te doen overslaan, omdat zij beiden hunne linkerzijde aan denzelfden kant hebben, waarvan men zich gemakkelijk kan overtuigen als men den regel van Ampère volgt Windt men nu den draad in de richting van de naald om die naald heen, dan zal men de kracht nog vermeerderen: maakt men verscheiden windingen, dan zal men de kracht, waarmede de stroom de naald tracht te doen uitslaan, nog grooter maken: en bij gevolg zal de zwakste stroom, die door geen ander middel te bemerken was, op de magneetnaald kunnen wer-

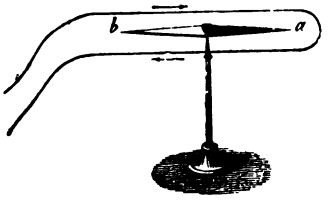


Fig. 357. Theorie van den galvanometer.

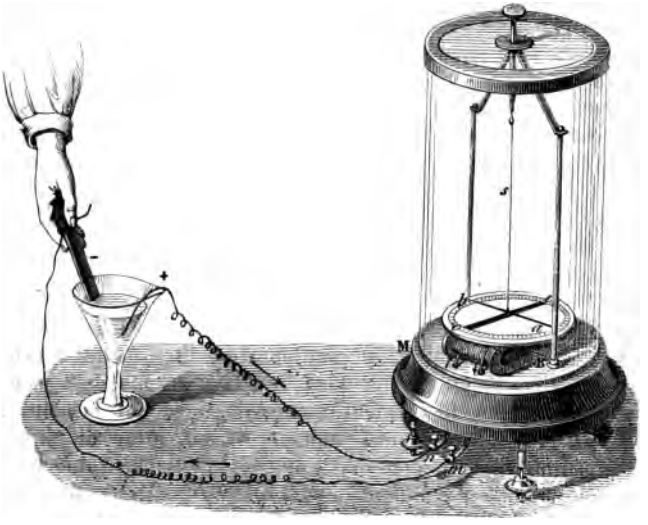


Fig. 358. Galvanometer of multiplicator.

ken; deze naald zal ons verder niet alleen het bestaan van een stroom aantoonen, maar ons ook de richting, in welke hij zich voortplant, doen kennen. Tot dit tweeledig doel gebruikt men den multiplicator of galvanometer.

Het toestel in fig. 358 afgebeeld, bestaat uit een koperen voet M, waarop eene glazen stolp rust; onder deze stolp bevindt zich een gegradueerde cirkel en onder dezen cirkel een houten raampje, waaromheen een dunne met zijde omsponnen roodkoperen draad in vele windingen is gewonden. De uiteinden van dezen draad gaan door den voet en zijn voorzien van twee koperen knoppen *m* en *n*. Eindelijk ondersteunen twee geelkoperen standaards een cocondraad *s*, waaraan een klein staafje hangt, waarin twee magneetnaalden bevestigd zijn: een daarvan *a b* is zichtbaar boven den graadboog, de andere B is slechts gedeeltelijk zichtbaar, en bevindt zich in het raampje, dat door den draad omwonden is. Deze twee naalden, die zoo verbonden zijn, dat zij steeds samen moeten draaijen, zijn zoo geplaatst dat hare ongelijknamige polen naar denzelfden kant wijzen, dat wil zeggen: de noordpool *a* van de eene is gelegen boven de zuidpool B van de tweede. Dit heeft een belangrijk gevolg: ten eerste tracht het aardmagnetisme deze twee naalden in tegengestelde richting te doen afwijken, zoodat, wanneer zij nagenoeg van dezelfde sterkte zijn, de invloed van de richtende kracht der aarde bijna nul is, en bij gevolg eene kleine kracht voldoende zal zijn om de naalden van den magnetischen meridaan te doen afwijken; en meer nog: door het aanwenden van twee naalden wint het toestel veel in gevoeligheid, daar de stroom, door de draadwinding loopende, zoowel op de eene als op de andere naald werkt en ze naar denzelfden kant doet uitslaan: hetgeen weder een gevolg is van den regel van Ampère (zie 441).

445. **Gebruik van den multiplicator.** Naar de hierboven gegeven beschrijving ziet men in, dat de multiplicator een uiterst gevoelig instrument moet zijn, om het bestaan zelfs van de zwakste stroomen aan te wijzen. Met dit werktuig heeft Becquerel aangetoond, dat bij alle chemische werking ook electrische stroomen ontstaan. Zelfs heeft men er het aanwezen van erkend in planten en dieren, maar dan, in plaats van 5- of 600 omwindingen, maakte men gebruik van galva-

nometers, waarvan de draad tot 20,000 omwindingen maakt.

Om met den multiplicator de electrische stroomen, die door chemische werking ontwikkeld worden, aan te toonen, bij voorbeeld bij de werking van zuren op metalen, maakt men twee platina-draden in de knoppen *m* en *n* vast (zie fig. 358); eerst dompelt men een van deze draden in een glas, dat met (door zwavelzuur aangezuurd) water gevuld is, den anderen brengt men in verbinding met een staafje zink en daarna dompelt men dit stukje metaal ook in het glas. De twee naalden, die eerst evenwijdig waren aan den diameter *o i*, dien men vooraf in den magnetischen meridiaan plaatst, richten zich dadelijk loodrecht op dezen meridiaan, dat het plotseling ontstaan van eenen electrischen stroom aantoont. En meer nog; uit de plaats, welke elke noordpool der naalden inneemt, kan men tot de richting van den stroom besluiten en aanwijzen, dat die nu plaats heeft in de richting door de pijltjes aangeduid; hieruit besluit men dat het aangezuurde water positief electrisch wordt en het stukje zink negatief. Zoo vinden wij bewaarheid, wat reeds gezegd is bij de theorie van de kolom, dat, wanneer een zuur zich met een metaal verbindt, dit laatste altijd negatief en het zuur positief electrisch wordt.

446. **Het magnetiseeren door stroomen.** Daar de proef van Œrsted leerde, dat de electrische stroom juist omgekeerd werkte op de beide polen van eene magneetnaald, daar hij de eene rechts, de andere links deed uitslaan, kon men vermoeden, dat een stroom, dwars geleid over eene stalen of ijzeren staaf, de beide magnetische vloeistoffen zoude scheiden

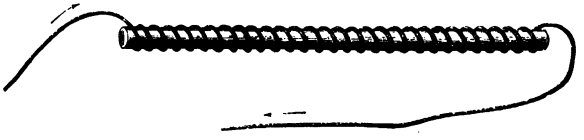


Fig. 359. Magnetiseering door stroomen.

en de staaf tot een magneet maken. Het was dan ook een van de eerste proeven, die door Ampère en Arago genomen werden, en de uitkomst bevestigde hun vermoeden. Zij *rolden* een koperdraad schroefvormig om eene stalen staaf,

zoo als fig. 359 ons doet zien, en door dien draad deden zij een stroom gaan: de staaf werd dadelijk magnetisch. Hetzelfde verschijnsel brengt men teweeg met eene week ijzeren staaf, maar dan is het magnetisme niet blijvend: gaat de stroom niet meer door den draad, dan komt het week ijzer, dat geene coërcitief-kracht (zie 368) bezit, dadelijk weer in den vorigen staat terug.

Ook kan men eene stalen staaf magnetisch maken, wanneer men door den draad van fig. 359 niet den Voltaschen stroom, maar de ontlading eener Leidsche flesch doet gaan: dit verkrijgt men door een der uiteinden van den draad te bevestigen aan het buitenbekleedsel en het andere aan het binnenbekleedsel. De staaf wordt dan oogenblikkelijk magnetisch; het is tevens een bewijs van de identiteit van de electriciteit der electriseermachines met die van de galvanische batterijen.

HOOFDSTUK XI.

ELECTRO-MAGNETEN, ELECTRISCHE TELEGRAFEN, ELECTRO-MOTOREN.

447. **Electro-magneten.** Wij verstaan onder *electro-magneten* die magneten, welke men, zoo als hun naam aanduidt, verkrijgt door middel van de electriciteit. Zij bestaan gewoonlijk uit eene cilindervormige staaf van week ijzer, die als een hoefijzer is omgebogen (zie fig. 360). Om elk uiteinde is in vele windingen, maar in tegengestelde richting, een met zijde omsponnen koperdraad gewonden. Zoodra nu een zelfs zwakke stroom door dezen draad gaat, wordt het ijzer sterk magnetisch; maar zoodra de stroom afgebroken wordt, is al het magnetisme geweken (zie 446).

Fig. 360 Electro-magneet.

De kracht der electro-magneten hangt van hunne afmetingen af, ook van het aantal omwindingen van den draad en

[illegible]

Fig. 361. Het dragen van een last, door een electro-magneet.

magneten, die tot 14 en 15 personen dragen, en men kan er maken, die nog meer zouden dragen. Zeer belangrijk is de toepassing der electro-magneten op de telegrafie, op de uurwerken en op de electro-motoren.

448. **Electrische telegrafen.** De electrische telegrafen zijn toestellen, waarin men zich van den stroom bedient, om teekens over te seinen, niet alleen op aanmerkelijken afstand, maar zelfs met eene verbazende snelheid.

In het begin dezer eeuw meende men gebruik te kunnen

maken van de snelheid van den electrischen stroom tot het seinen langs een geleidenden draad van het eene einde naar het andere. Toen Œrsted de richtende kracht der stroomen op de magneetnaalden had leeren kennen, stelde Ampère in 1820 voor, door middel van stroomen seinen te geven langs metaaldraden, die men over magneetnaalden heen liet gaan, van evenveel naalden en draden gebruik makende als men letters in het alphabet heeft. Steinheil, te Munchen, vervaardigde in 1837 zulk een toestel; maar die sein-toestellen misten de nauwkeurigheid en eenvoudigheid, welke zij tegenwoordig bezitten, nu men hen doet werken door electro-magneten: deze toepassing zijn wij aan Wheatstone te Londen in 1840 verschuldigd.

Daarna heeft het mechanisme der electrische telegrafen vele wijzigingen ondergaan: men zoude boekdeelen kunnen volschrijven over al de toestellen, die reeds vervaardigd zijn. Evenwel men kan ze onder drie hoofdsoorten rangschikken: de wijzer-, de naald- en de schrijf- of druk-telegrafen. Allen berusten op hetzelfde beginsel, dat hoogst eenvoudig is: op de plaats, vanwaar men seint, is eene electrische batterij en op de plaats, waar men het sein ontvangt, is een electro-magneet, en deze beide toestellen zijn verbonden door een metaaldraad, die van de eene naar de andere plaats gaat.

Bij voorbeeld, zij E (fig. 362), een vaste electro-magneet,

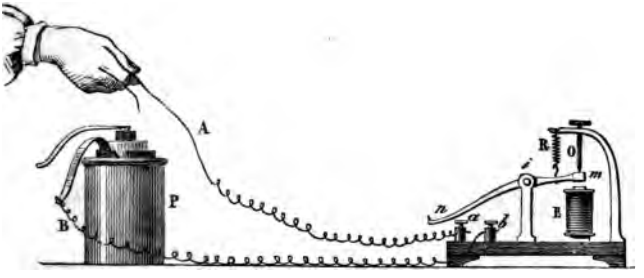


Fig. 362. Theorie van de telegraaf.

waarvan de koperdraad, die met zijde omsponnen is, met zijne beide uiteinden verbonden is aan twee geelkoperen knopjes *a* en *b*. Zij er verder boven dezen electro-magneet een hef-

boom *m n*, die beweeglijk is om de as *i*, en eindigt in een stuk week ijzer *m*, zoodat telkens, wanneer er door den electro-magneet een galvanische stroom gaat, het stuk *m* aangetrokken wordt en dus het rechter-uiteinde van den hefboom daalt; vervolgens wanneer de stroom niet meer door den electro-magneet gaat, wordt dit uiteinde weder omhoog getrokken door eene spiraalveer R. Door middel van eene schroef O, die men meer of minder neer kan schroeven, wordt de grootte dezer opligting bepaald.

Veronderstellen wij nu, dat de electro-magneet b. v. te Rotterdam geplaatst is, en dat er zich te Amsterdam eene batterij P bevindt, door twee geleiddraden A en B met den electro-magneet verbonden, waarvan de eene B voortdurend den knop *b* met de negatieve pool der batterij verbindt, terwijl de andere A eindigt in de hand van een proefnemer, die zich dicht bij de batterij bevindt. Zoo lang nu de proefnemer den draad, dien hij in de hand houdt, niet met de positieve pool der batterij in verbinding brengt, gaat de stroom niet door, de electro-magneet is niet magnetisch, en de hefboom *m n* blijft in den stand, die in fig. 362 is voorgesteld. Maar wanneer men den draad A met de positieve pool der batterij verbindt, is de stroom gesloten, de electro-magneet wordt magnetisch, en de hefboom, aangetrokken wordende, daalt, zoo als figuur 363 ons doet zien. De hef-

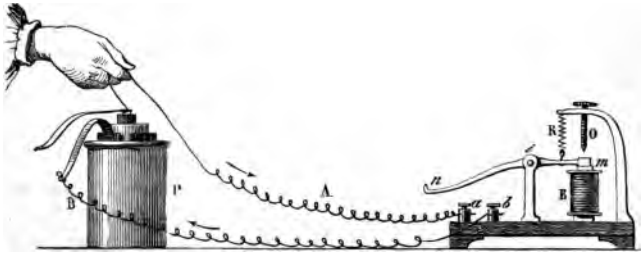


Fig. 363. Theorie van de telegraaf.

boom neemt zijn vorigen stand weer aan zoodra men den stroom verbreekt, en zoo vervolgens, naar de willekeur van *den proefnemer*. Men ziet dus, dat iemand te Amsterdam *den hefboom m n* te Rotterdam kan doen op- en neergaan,

zoo dikwijls en met zoodanige snelheid als hij verkiest. Ziedaar in zijn eenvoudigsten vorm het beginsel, waarop alle electrische telegrafen berusten.

Bij allen is het de hefboom *m n*, die, door zijne op- en neergaande beweging, nu eens de teekens onmiddellijk op eene reep papier opschrijft, dan weder zijne beweging aan verschillende bewegelijke stukken mededeelt, om verschillende soorten van teekens voort te brengen.

Bij de wijzer-telegrafen doet de electro-magneet een wijzer bewegen over eene plaat, die de vierentwing letters draagt: die letter, voor welke de wijzer blijft staan, is de overgeseinde letter; dat wil zeggen, dat ieder woord zooveel signalen eischt, als het letters bevat.

Bij de naald-telegrafen heeft men twee electro-magneten, die op eene witte schijf twee beweegbare *aanwijzers*, welke zich aan de uiteinden van eene zwarte, horizontale, onbeweegbare lijn bevinden, in beweging brengen. De verschillende standen van deze aanwijzers in betrekking tot de vaste lijn, dienen tot teekens, die men aangenomen heeft, evenals bij onze voorouders bij de op staken werkende telegrafen.

Eindelijk bij de druk-telegrafen is de hefboom, die door den electro-magneet in beweging wordt gebracht, voorzien van eene stift, welke door eene bijzondere inrichting voortdurend van blauwe inkt wordt voorzien, waardoor op eene reep papier, telkens als de stift er tegen aandrukt, blauwe teekens worden opgeschreven. Deze telegraaf is tegenwoordig van allen het meest in gebruik; in ons land wordt zij gebruikt op alle kantoren van de rijks-telegraaf, als ook op de stations van den Rhijnspoorweg en van de Staats-spoorwegen. Zij is de eenige waarvan wij hieronder eene nadere beschrijving zullen geven, onder den naam van *telegraaf van Morse* (zie 450). Alleen op de stations van den Hollandschen spoorweg wordt nog de wijzer-telegraaf gebruikt. (*)

(*) De eigenlijke druk-telegraaf, die in typographische letters het telegram opteekent, is van den Hoogleeraar David Eduard Hughes uit Louisville in Amerika; hij overwon de bezwaren om een toestel samen te stellen, dat de telegrammen zeer snel in gewone drukletters weergeeft.

Hughes heeft de gebreken, die zijn toestel aankleefden, toen hij er in 1855 mede in Parijs kwam weten te verwijderen en sinds een paar

449. **De rol der aarde bij het overbrengen der galvanische stroomen.** In de bovengeplaatste figuren 362 en 363 ziet men niet alleen een draad, die den stroom van de positieve pool der batterij naar den electro-magneet voert, maar ook een tweeden, die den stroom van den electro-magneet weder naar de batterij terug geleidt.

De ondervinding heeft nu geleerd dat bij telegraaflijnen, die van de eene plaats der aarde naar de andere gaan deze tweede draad overbodig is; het is de aarde, die als tweede geleider dienen kan.

Daartoe richt men toestellen in, zoo als fig. 364 doet

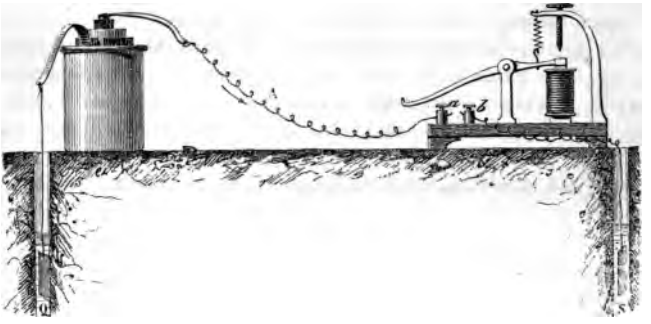


Fig. 364. Theorie van de telegraaf.

zien. Aan het seingevende kantoor bevestigt men aan de negatieve pool der batterij een draad van rood koper, die eindigt in eene plaat van hetzelfde metaal, welke op den

---

jaren is zijn toestel langzamerhand in de meeste landen van Europa ingevoerd. Het toestel van Hughes werkt sedert 5 Maart 1868 op eenige lijnen van Nederland: en wel te Amsterdam, te 's Gravenhage en te Rotterdam enz.: op eerst genoemde plaats werkt tevens zulk een toestel met Berlijn, Keulen, Frankfort enz.

Het toestel van Hughes is zeer samengesteld, vordert bekwame telegrafisten en wordt slechts gebruikt op lijnen, waarover veel berichten worden verzonden; maar zeer geoefende telegrafisten kunnen ongeveer 50 à 60 berichten in het uur overbrengen, tegen 20 à 25 met een Morse-toestel. (Zie: geschiedenis van de uitvoering der electro-magnetische Telegrafie *in* Nederland, door J. J. van Kerkwijk: Nieuwe verh. v. h. Bataafsche Genootschap, 2e reeks, 2e deel, 1e stuk, 1870. Rotterdam, J. van Baalen & Zonen).

bodem van eene put in de vochtige aarde geplaatst wordt. Evenzoo verbindt men aan het seinontvangende kantoor den knop *b* met eene dergelijke koperen plaat, die mede in het water van eene put of in den vochtigen grond geplaatst is. Terwijl nu de negatieve electriciteit door de plaat Q in den grond uitvloeit, stroomt de positieve electriciteit, na den electro-magneet en den knop *b* doorloopen te hebben, door de plaat S in de aarde uit. Daardoor ontstaat in den geleiddraad A en in den electro-magneet dezelfde electrische stroom, en dus ontstaan dezelfde uitwerkselen, als wanneer de knop *b* onmiddelijk met de negatieve pool der batterij door een metalen geleiddraad verbonden was.

450. **Schrijf- of druktelegrafen van Morse.** Deze telegrafen, in Amerika in 1837 uitgevonden, hebben het groote voordeel boven de hierboven genoemde, van op papier een spoor van het overgebrachte bericht, *het telegram*, na te laten, zoodat men na kan gaan of er ook eene vergissing heeft plaats gehad in het afschrijven der teekens. In fig. 365 zien wij een kantoor van afzending van eene tijding en in fig. 366 een kantoor, waar de tijding ontvangen wordt In beide is het toestel eveneens ingericht: maar het is dubbel, het bestaat uit twee onderscheidene deelen: den *seingever* of *sleutel*, die het sein geeft, en den *ontvanger*, die het opteekent. Deze beide stukken zijn op grootere schaal voorgesteld in fig. 367 en 368.

Om in te zien hoe men met deze toestellen werkt, zullen wij met fig. 365 beginnen. Onder de tafel waarop zich het sein-toestel bevindt, is de batterij geplaatst, welke den stroom doet ontstaan. Deze, door den draad P geleid, komt in den sleutel, welken wij straks zullen beschrijven; van daar begeeft hij zich naar een kleinen galvanometer *g*, die door den stand der naald aantoont of de stroom doorgaat. Eindelijk geraakt de stroom, na een stuk M, dat als afleider dient, en dat wij later zullen verklaren, aangedaan te hebben, in den draad L. die de zoogenaamde *telegraafdraad* is, dat is de draad, die op palen langs wegen enz. gespannen is.

Wij zien dien draad weer boven in fig. 366, waar de stroom, die terugkeert, weer door een afleider gaat, vervolgens door een galvanometer, eindelijk in den sleutel, van waar hij zich naar de electro-magneet van den ontvanger begeeft. Van hier *gaat hij door* eenen draad T naar den grond.

451. **Sleutel en ontvanger van Morse.** Daar wij de inrichting in haar geheel kennen, zullen wij nu nagaan hoe de sleutel en de sein-ontvanger werken. De eerste bestaat uit een houten plankje waarop zich een metalen hefboom of toets *k h* bevindt, die om eene horizontale as beweegbaar is (zie fig 367). Aan het eene einde wordt deze hefboom opgedrukt door eene metalen veer *r*, aan het andere einde gaat er eene koperen stift

Fig. 365. Electrische telegraaf (seingevend kantoor).

a door, die op een koperen knopje rust, dat in het plankje weer in verbinding is met den draad A. In fig. 368 zien wij den sleutel voorgesteld op het oogenblik, dat de tijding *ontvangen* wordt, dat wil zeggen zoo als hij in werking is *fig. 366.* De stroom komt dan in door draad L, die de

telegraafdraad is, klimt op in den hefboom *k h* en daalt weer neer door de stift *a* in den draad A, die hem verder naar den ontvanger geleidt. Moet echter door den sleutel de stroom gaan om het sein te geven, zoo als in fig. 365 wordt voorgesteld, dan moet de stroom, die van de batterij door den draad P komt, bij den sleutel kunnen intreden: dit heeft geen plaats, als hij in den stand is, als in fig. 367 is voorgesteld, waar men ziet, dat de hefboom *k h* de metalen knop waar de draad P eindigt, niet aanraakt. Maar indien men, door met den vinger op knop B te drukken, den hefboom *k h* naar beneden doet gaan, dan herstelt zich de aanraking en de stroom P gaat oogenblikkelijk door den draad L, die hem weer voert naar het kantoor, waar het sein ontvangen wordt.

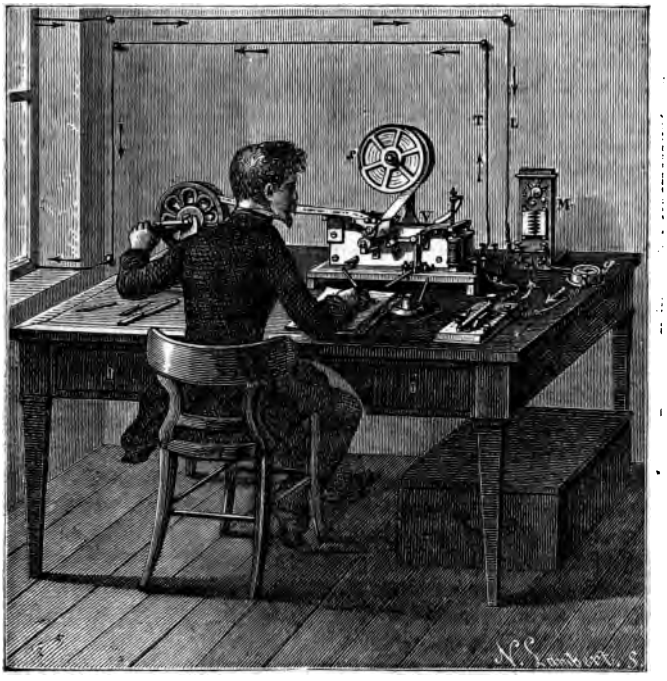


Fig. 366. Electrische telegraaf (sein-ontvangend kantoor).

De sein-ontvanger bestaat uit een electro-magneet E (fig. 368), die telkens als de stroom doorgaat, aantrekkend werkt op een anker van week ijzer *m*, dat aan het uiteinde van een om een as beweegbaren hefboom *m n* bevestigd is. Aan het andere uiteinde *n* draagt deze hefboom een scherpe punt *s*, die tegen eene reep papier *a b* aandrukt. Gaat de stroom niet door den electro-magneet, dan raakt de punt het papier niet aan: maar zoodra gaat de stroom niet door of het anker *m* wordt aangetrokken, de hefboom wordt aan de eene zijde neer- en aan de andere opgedrukt en de punt komt in aanraking met het papier, waarop zij eene streep afteekent of alleen een punt, al naarmate de stroom langen of korten tijd doorgaat.

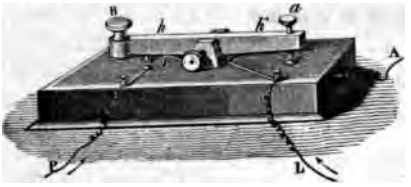


Fig. 367. Sleutel van den telegraaf van Morse.

Opdat er geene verwarring kome in de aldus door de punt opgeteekende signalen wordt de reep papier langzaam door een cilinder *z* voortbewogen, die door een horlogewerk V (zie fig. 365) wordt omgedraaid. Wat de teekens (de strepen en punten) op de reep papier aangaat, zij hangen af van den beambte, die den sleutel (zie fig. 365) doet werken; want hij heeft slechts langer of korter tijd op knop B te drukken.

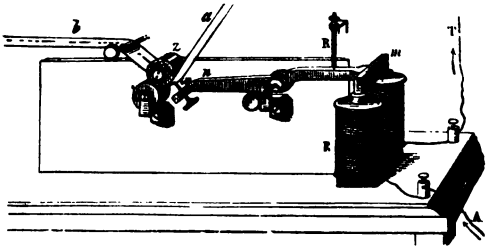


Fig. 368. Sein-ontvanger van den telegraaf van Morse.

Men heeft eene overeenkomst aangaande de beteekenis van de *samenvoeging* van strepen en punten, die in ons land en in de *meeste* landen van Europa is aangenomen. Zij is de volgende:

Seinteekens voor het Morse-toestel.

LETTERS.

LETTER.	TEEKEN.	LETTER.	TEEKEN.
a	. —	n	— .
ä	. — . —	ñ	— — . — —
b	— . . .	o	— — —
c	— . — .	ö	— — — .
ch	— — — —	p	. — — .
d	— . .	q	— — . —
e	.	r	. — .
é	. . — . .	s	. . .
f	. . — .	t	—
g	— — .	u	. . —
h	. . . .	ü	. . — —
i	. .	v	. . . —
j	. — — —	w	. — —
k	— . —	x	— . . —
l	. — . .	y	— . — —
m	— —	z	— — . .

CIJFERS.

CIJFER.	TEEKEN.	CIJFER.	TEEKEN.
1	. — — — —	6	— . . . .
2	. . — — —	7	— — . . .
3	. . . — —	8	— — — . .
4	. . . . —	9	— — — — .
5	. . . . .	0	— — — — —

Breukstreep — — — — — —

LEESTEEKENS ENZ.

BETEEKENIS.	TEEKEN.	BETEEKENIS.	TEEKENS.
Punt .	. . . . .	Verkortingsteeken '	. — — — — .
Kommapunt ;	— . — . — .	Haakje, vóór en na den tusschenzin ( )	— . — — . —
Komma ,	. — . — . —	Nieuwe regel	. — . — . .
Dubbele punt :	— — — . . .	Onderstreept, vóór en na de woorden te plaatsen	. . — — . —
Aanhalingsteeken "	. — . . — .	Scheiteeken, tusschen den tekst en de onderteekening	. . . . . / . . . . .
Vraagteeken ?	. . — — . .		
Uitroepteeken !	— — . . — —		
Bindteeken -	— . . . . —		

DIENSTTEEKENS.

BETEEKENIS.	TEEKENS.
Regeeringsbericht.	. . . — . .
Dienstbericht.	. — — . .
Bijzonder bericht.	. — — . — . .
Oproeping.	— . — . — . —
Begrepen.	. . . — .
Feil.	. . . . .
Slot.	. — . — . — .
Verzoek om te seinen.	— . . . — .
Wachten.	. — . . .
Ontvangen.	. — . . — . . — .

De ruimte van eene streep is gelijk aan die van drie punten.
De ruimte tusschen de deelen van een teeken is gelijk aan een punt.
De ruimte tusschen twee teekens is gelijk aan drie punten.
De ruimte tusschen twee woorden is gelijk aan zes punten.

Hoewel niet ontkend kan worden, dat de sleutel of seingever van deze telegraaf nog zeer onvolmaakt is, daar de behandeling geheel willekeurig is en alleen afhangt van de geschiktheid van den beambte, kan men toch bij eenige oefening genoegzame vaardigheid in het regelmatig behandelen van dezen sleutel verkrijgen. In ons land brengt genoemd bezwaar geene stoornis teweeg, en punten, strepen en afstanden worden door de meeste telegrafisten onder genoegzaam betrekkelijk gelijke grootte voortgebracht.

Het gebruik van den afleider M (fig. 365) moeten wij nog beschrijven. De ondervinding leerde, dat onder den invloed van onweerswolken er zich hoeveelheden electriciteit in de draden ophoopten, voldoende om hevige schokken te geven aan hen, die met de toestellen moeten werken: dit wil men door den afleider voorkomen. Hij bestaat uit twee zaagvormig getande metalen stukken, zoodanig bij elkander geplaatst, dat de punten der tanden nagenoeg in aanraking zijn. De stroom gaat èn bij het heengaan èn bij het terugkeeren, door een van deze plaatjes, terwijl het andere met den grond gemeenschap heeft. Indien nu ten gevolge van eene onweerswolk de electriciteit zich in de draden en in de toestellen ophoopt, dan ontlast zij zich door de punten naar de plaat die met den grond in verbinding is en verliest zoo hare spanning. De vonk of schok, die anders het gevolg van de ophooping zoude kunnen zijn, wordt dus vermeden.

452. **Verbetering van de telegraaf van Morse.** In de telegraaf van Morse geeft het droog schrijven soms punten en strepen, die, wat de duidelijkheid aangaat, wel wat te wenschen overlaten. Om hierin te voorzien heeft men het toestel eenigszins gewijzigd, zooals uit nevensgaande teekening fig. 369 blijkt. Een rol *a* met flanel bekleed, wordt vochtig gehouden door een vetten inkt. Onder de rol en haar aanrakende is eene kleine ketting zonder eind, die over twee schijven *o* en *ó* loopt, en die gedreven worden door een horlogewerk, dat ook de reep papier doet vooruitgaan. Deze wordt eindelijk opgehouden door een rol *b*, dicht bij de ketting, maar haar niet rakende.

Telkenmale als de stroom den electro-magneet intreedt, wordt het poolstuk A aangetrokken, de hefboom k daalt, en *een knop i, die* aan zijn uiteinde bevestigd is drukt te-

gen de ketting en brengt haar in aanraking met het papier. De ketting, den inkt nu afgevende, welke zij op de rol

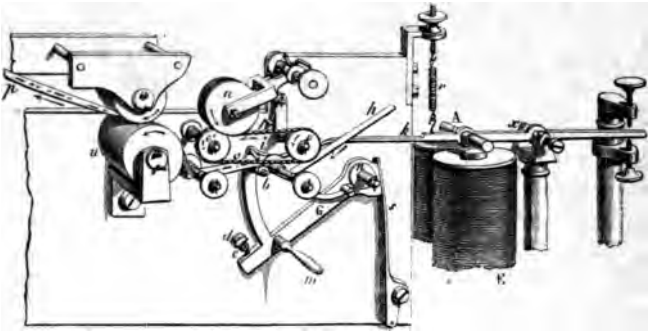


Fig. 369.

heeft opgenomen, schrijft òf een streep òf een punt, al naar den duur van het doorgaan van den stroom door den electromagneet. De strepen en punten hebben dezelfde beteekenis als hierboven.

453. **Snelheid van voortplanting; onderzeesche telegrafen.** De snelheid van voortplanting der electriciteit in metaaldraden werd door Wheatstone in 1834 bepaald. In een geelkoperen draad van 2^{mm} dikte vond hij eene snelheid van 450.000 Ned. mijlen in de seconde. Men geraakte tot andere uitkomsten door de proefnemingen van Walker in Amerika en Fizeau in Frankrijk in 1850: deze proeven werden met telegraafdraden genomen. Walker vond in den ijzeren telegraafdraad van Washington naar St. Louis eene snelheid van 30.000 mijlen. Eene snelheid van 101.700 mijlen in een ijzerdraad van 4,5 streep dikte, en van 177.700 mijlen in een koperdraad van 2,5 streep dikte werd door Fizeau gevonden. Waarnemingen tusschen Greenwich en Edinburg gaven eene snelheid van 12.200 mijlen en die tusschen Greenwich en Brussel van slechts 4300 mijlen in de seconde. Hoewel het groot verschil in bovengemelde cijfers aantoont, dat de voortplantings-snelheid van den electrischen stroom nog niet met zekerheid opgegeven kan worden en ook niet altijd even groot is, ziet men toch, dat de snelheid steeds zoo groot is, dat het overbrengen van

ling als oogenblikkelijk kan worden aangenomen, en dat d, die in de toepassing vereischt wordt, niet afhangt le voortplantings-snelheid, maar alleen van het gebruik n der toestellen.

ewel nog nieuw, is de electrische telegraaf toch reeds gemeen gebruik in Europa en Noord-Amerika. Niet al-bedekt een onmetelijk draadnet deze beide continenten, onderzeesche telegraaflijnen (telegraafkabels) verbinden land aan Ierland, aan Nederland, aan Frankrijk. Malta, inië, Algiers zijn op deze wijze met de Fransche havens de Middellandsche zee verbonden en evenzoo Java met apore.

e grootste overwinning, die men door de electriciteit heeft ald, is de verbinding van Amerika met Europa door met a-percha bekleede metalen draden. Hoeveel moeite, tijd geld het heeft gekost, men is er in geslaagd, na twee ukte proefnemingen. De eerste draad werd in den zo-van 1858 gelegd van Valentia, in het westelijkste deel Ierland gelegen, naar Placentia, het uiterste punt van vfoundland; hij had eene lengte van 4000 kilometers. engelsch en een Amerikaansch oorlogstoomschip (de Aga-nnon en de Niagara) namen elk de helft van den draad boord en stevenden naar een punt midden tusschen Ier-d en Newfoundland gelegen. Aldaar aangekomen, werden beide helften van den draad te zamen gevoegd, en nu begon n van beide vaartuigen te gelijk den draad te laten zinken, dat de draad op den bodem der zee kwam te rusten. De amemnon stoomde naar Valentia, de Niagara naar New-ndland. Na velerlei tegenspoed, daar de draad onder het vieren tweemaal brak, en men dus tweemaal op nieuw moest ginnen, kwam toch de onderneming in Augustus 1858 tot nd, en gedurende eenige dagen werden er telegrafische be-chten gewisseld tusschen Amerika en Europa. Zeer spoedig hter kwamen helaas de seinen niet geregeld meer over, en g voor dat de draad voor het publiek was opengesteld eigerde de draad alle werking, waarschijnlijk door een brek in de gutta-percha-bekleeding op eenigen afstand van alentia.

In 1860 trachtte men den draad weder op te visschen. aar men bracht slechts enkele stuken naar boven,

de eigenlijke draad nog altijd op den bodem der zee rust. Zoo eindigde deze reusachtige onderneming, wier mogelijkheid door velen reeds van te voren betwijfeld was. Intusschen, daar de draad althans gedurende eenige dagen geregeld gewerkt heeft, was die mogelijkheid bewezen. In Engeland vormde zich eene nieuwe maatschappij, om het leggen van een draad tusschen Amerika en Europa op nieuw te beproeven, en vol verwachting werd de uitslag dezer tweede onderneming te gemoet gezien.

Helaas! wederom mislukte deze onderneming, niettegenstaande de bijzondere zorg die besteed was om nu toch wèl te slagen. De nieuwe kabel, in den zomer van 1864 vervaardigd in de werkplaatsen van de beroemde firma Glass, Elliot en Co. te East-Greenwich, had eene lengte van 3480 kilometers (men rekende op de oneffenheid van den zeebodem, op verlies bij het leggen, enz) en werd overgebracht aan boord van de Great-Eastern, het groote vaartuig dat bestemd was om den kabel op te nemen en verder dien te leggen.

Wij meenen onzen lezers geen ondienst te doen door eenigszins breedvoerig iets van de geschiedenis van dit reuzenwerk hier aan te halen.

Het oevergedeelte van den kabel, bijna 50 kilometers lang, was vervaardigd door W. T. Henly van North Woolwich en werd door een schroefstoomschip de Carolina, dat hem toebehoorde, naar Valentia gebracht. Dit gedeelte van den kabel is zoo dik en zwaar als ooit gemaakt werd, wegende ongeveer 20.000 kilogr. per 1800 el en hebbende een diameter van $6^1/_2$ Ned. duim, doch langzamerhand verminderende tot de dikte van den onderzeeschen kabel. De Great-Eastern, aan boord hebbende den geheelen kabel, lang 4255 kilometers, wegende 1.700.000 kilogr. en gestouwd in 3 ijzeren vaten, ligtte het anker Saterdag 15 Julij 1865. Maandag 17 Julij ontmoette hij de Carolina, welke reeds 10 dagen had stil gelegen, niet bij machte om zonder hulp verder te komen. De Great-Eastern nam dit schip op sleeptouw en stevende tegen een zwaren Z. W. storm van maandag tot woensdag, welke de Great-Eastern wel niet deerde maar de ongelukkige Carolina bijna overstelpte, naar Valentia. Er was werkelijk gevaar.

Het stoomschip de Great-Eastern werd begeleid door H.

M. S. Terrible en Sphinx, welke het te Valentia ontmoetten en het zouden begelijden tot Newfoundland.

Maandag 24 Julij werd een fout ontdekt, doch hersteld; Woensdag 26 Julij wederom storing in de isolatie; eene lengte van 18 Ned. mijlen werd opgehaald om te onderzoeken, en toen ontdekt dat een dun stukje van het ijzerdraad dat den kabel omgeeft, los was geraakt en in den kabel door het gutta-perchabekleedsel was gedrongen en den geleiddraad aanraakte. Het stukje ijzer werd weggenomen en de fout was dadelijk hersteld. Op den 29 moest men om dezelfde reden den kabel weer ligten, toen de Great-Eastern lag in 2000 vademen water, 1164 kilometers van Valentia en 1880 kilometers van Newfoundland, de isolatie was geheel verbroken; na nauwkeurig onderzoek vond men een ijzerdraad in de bekleeding gedreven. Het was eene treurige ontdekking, lezen wij in het journal van Mr. Russel, daar het bleek aan moedwillige beschadiging te moeten toegeschreven worden (1).

Woensdag 2 September was het de treurige en toch merkwaardige dag! De nacht was ruw geweest, doch het groote stoomschip had rustig zijn weg afgelegd, geregeld den kabel vierende, loopende 7 knoopen in het uur. De morgen brak vroolijk aan, de kabel liep gemakkelijk uit met een spoed van 13 mijlen per uur. Doch te 8 uur in den morgen werd door den galvanometer een stroomverlies aangeduid, dat een groote fout deed veronderstellen. De plaats waar, kon men niet ontdekken, alleen met groote waarschijnlijkheid vermoeden, dat de fout niet ver van den spiegel van het schip zou verwijderd zijn. Men besloot dus weer den kabel voor een eind op te halen: wederom werd de plaats der fout ontdekt. Het ijzer, dat den kabel moest beschermen, was los geraakt en ingedrongen en had dus de isolatie verbroken; men slaagde toch dit gebrek te herstellen. En vol moed begon men weer den kabel uit te vieren, doch helaas! terwijl men hiermede bezig was en het schip goed vorderde en de kabel goed om zijne rollen liep, hoorde men een gekraak, de kabel verliet het wiel, waarin hij liep, dat in zijne velling den vorm V

(1) It was impossible to risist the irritating and sorrowful conviction that such au injury was the work of some *hired cable cassassin* or *some purposeless malefactor*.
Zie verder *Illust. Lond.* News, Aug. 26, 1865.

had, hij stootte tegen de andere raderen, en met een plotselingen schok brak hij af,.... 30 voet van de boeg en liep in zee,.... Zoo was de gemeenschap verbroken! En voor dezen keer de onderneming al weer mislukt!

De belangrijke proeven, genomen om den kabel weder op te visschen, zouden hier te veel plaatsruimte innemen. Evenwel men *is* geslaagd. In 1866 heeft men begonnen een nieuwen kabel te leggen. Dit gelukte uitstekend. Daarna heeft men het uiteinde van den kabel van 1865 opgevischt. De Great-Easteren had nog meer in dan alleen den reeds gelegden kabel Het opvisschen van den kabel, met een bepaald daarvoor geslagen touw, en met bepaald daartoe vervaardigde dreggen slaagde naar wensch en men bevond dat de kabel, die nu ongeveer 14 maanden onder zee gelegen had, volkomen zijne electrische hoedanigheden had behouden. Een nieuw eind werd er aan gesplitst en aan wal gebracht. Zoo heeft dus Engeland sedert 1866 twee telegrafische verbindingen met Amerika.

Nog een trans-atlantische kabel verbindt Europa met Amerika. En wel de Fransche, die in 1869 gelegd is, ook door Engeland met den Great-Easteren, en wel van Brest naar S^{t}. Pierre, van daar naar Duxbury, en zoo is deze lijn met het draadnet van Amerika verbonden.

De snelheid van voortplanting der electriciteit is in alle onderzeesche telegraafdraden geringer dan in de gewone.

454. **Electro-magnetische bewegingswerktuigen.** Vele natuurkundigen hebben getracht de aantrekkende kracht der electro-magneten als beweegkracht aan te wenden. Het eerste werktuig van dien aard was zoo ingericht, dat een gewone kunstmagneet schommelde tusschen de beide polen van eenen electro-magneet, die telkens van polariteit veranderde: dat wil zeggen: de noordpool van den magneet werd aangetrokken door de zuidpool van den electro-magneet, doch zoodra zij in de nabijheid kwam, veranderde de zuidpool in eene noordpool en stootte dus de noordpool van den magneet af. Het gebrek van dit toestel was, dat men alleen eene heen- en weergaande, geene ronddraaijende beweging had. Jacobi, te Petersburg, was de eerste, die eene doorgaande ronddraaijende beweging wist te verkrijgen. Hij bevestigde vier electro-*magneten* op een houten schijf, tegenover deze bevonden zich

vier andere electro-magneten op eene dergelijke schijf, doch welke kon ronddraaijen. De polen van de laatsgenoemde vier electro-magneten bevonden zich juist tegenover de vier vaste electro-magneten. Bij de vier vaste bleven de polen steeds dezelfde, bij de vier beweegbare veranderden zij echter gedurig. Stelt men dat de polen van laatstgenoemde zich niet juist tegenover de polen der vaste magneten bevinden, dan zal er ten gevolge van de aantrekking der ongelijknamige polen eene beweging plaats grijpen, die sneller wordt naarmate de afstand vermindert, omdat dan de aantrekking aanmerkelijk toeneemt. Op het oogenblik echter, dat de ongelijknamige polen zich juist tegenover elkander bevinden, worden de polen der beweegbare magneten omgekeerd: de beweging blijft echter door de eens verkregene snelheid voortduren, tot de polen door omkeering gelijknamig geworden zijn, en nu gaat de beweging verder voort; want de polen, nu gelijknamig geworden, stooten elkander af. Jacobi deed een boot, waarin 14 personen waren, door zulk een toestel de Newa opvaren. Men heeft op verschillende wijzen den vorm van deze machines veranderd, maar op het fabriekwezen zijn zij nog niet toegepast, omdat de kosten van zuren en zink voor de batterij veel grooter zijn dan die van de brandstoffen voor stoomwerktuigen van hetzelfde vermogen.

In fig. 370 zien wij een electro-magnetisch bewegingswerktuig uit de werkplaats van Froment te Parijs. Het bestaat uit vier sterke electro-magneten, die bij paren op twee stukken week ijzer P werken, waarvan slechts een op onze teekening zichtbaar is. Dit stuk door de electro-magneten E F aangetrokken, brengt de beweging door eene stang over op eene kruk *m*, die aan het einde van eene horizontale metalen as bevestigd is. Deze as draagt een groot gegoten ijzeren wiel, dat men *vliegwiel* noemt en dat dient om de draaijende beweging te regelen. Eindelijk heeft dezelfde as bij *n* een grooteren diameter; van dit gedeelte zal men later de bedoeling zien.

De stroom, bij A inkomende, geraakt in een gegoten ijzeren plaat B, en bereikt verder door verschillende metalen stukken de as en het stuk *n*, dat wij zoo even beschouwden. Van hier komt de stroom afwisselend eerst in het eerste paar eletromagneten E F, daarna in het tweede paar *e f*. Hoe deze verandering in den gang van den stroom verkregen wordt, kan

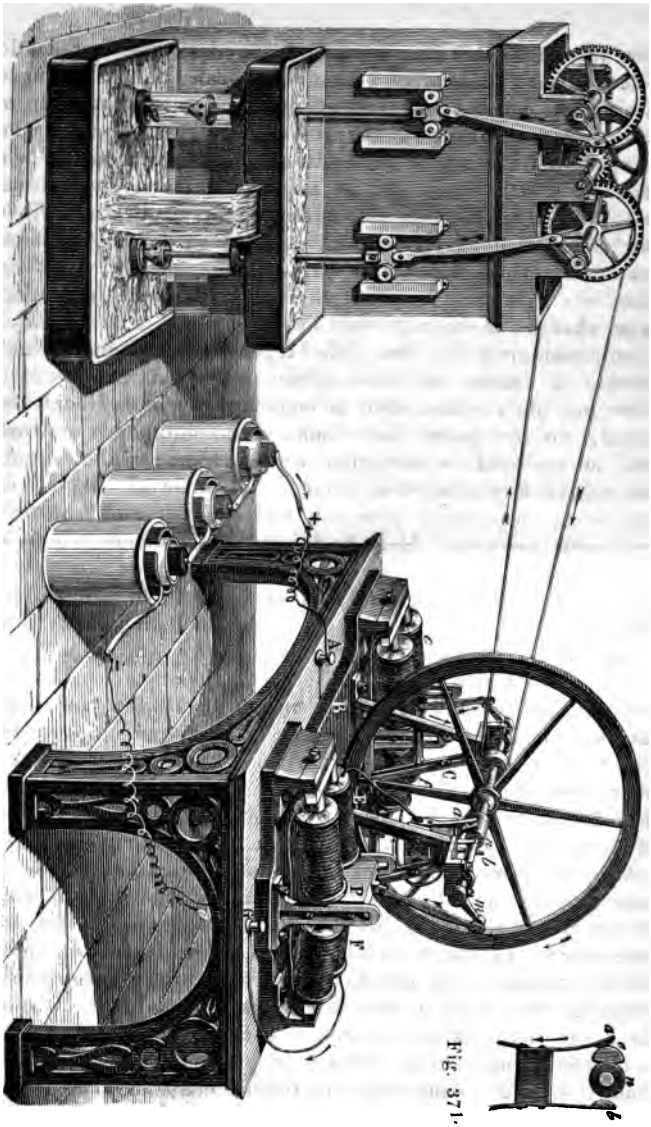


Fig. 370. Electro-magnetisch bewegings-werktuig van Froment.

Fig. 371.

men uit fig. 371 zien, dat ons eene doorsnede toont van het stuk *n*, met de daarbij behoorende deelen. Aan het stuk *n* vindt men een uitspringend gedeelte *e*, eene *kam*, die gedurende eene volledige omwenteling achtereenvolgens de twee plaatjes *a b* aanraakt; deze dienen om den stroom te leiden naar de electro-magneten: de richting van den stroom wordt aangeduid door de pijltjes zonder veertjes, terwijl zij, die van veertjes voorzien zijn, die richting aanwijzen in welke de stukken der machine zich bewegen.

Men ziet nu, dat, daar de stroom bij afwisseling in de twee plaatjes *a* en *b* intreedt, en van daar in de twee paren electro-magneten E F en *e f*, het stuk P eerst aangetrokken wordt, en daarna een ander gelijkvormig stuk, aan het andere einde van de as geplaatst. Hierdoor verkrijgt men eene doorgaande ronddraaijende beweging, welke door een riem zonder eind overgebracht wordt op een raderwerk, dat twee zuigpompen in beweging brengt.

HOOFDSTUK XII.

INDUCTIE-STROOMEN, TOEPASSING OP DE GENEESKUNDE.

455. **Inductie door electrische stroomen.** Wij hebben gezien, dat eene electriseermachine, in werking zijnde, door invloed werkt op ligchamen, die in neutralen toestand (zie 386) zijn, en in deze ligchamen electrische verschijnselen opwekt. De stroomen der batterij hebben een gelijksoortig gevolg, echter „alleen op het oogenblik, dat zij ontstaan of afgebroken worden."

Om dit te bewijzen neemt men twee met zijde omsponnen koperdraden, welke men naast elkander een groot aantal keeren om eenen houten of papieren klos windt, zie fig. 371; men maakt de beide uiteinden *a* en *b* van een dier draden aan de knoppen van eenen galvanometer vast (zie fig. 358) en bevestigt de uiteinden van den anderen draad *d* en *c* aan de polen van eene zwakke batterij. Telkemale, wanneer nu door de batterij een stroom ontstaat in den aan haar bevestigden draad, wijst de naald van den galvanometer aan, door de richting van afwijking, dat er in dezen tweeden draad een stroom

ontstaan is, tegensteld in richting aan dien van de batterij. De naald komt vervolgens in haren oorspronkelijken stand terug, en blijft in dien stand zoolang als de stroom doorgaat, hetgeen aanwijst, dat er geen stroom meer is in den draad, die naar den galvanometer gaat. Maar breekt men den stroom af, dan neemt men wederom afwijking der naald waar, maar

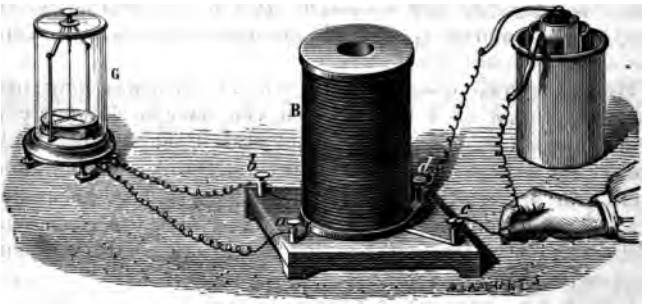


Fig. 371. Klos met twee draden.

in tegengestelde richting, hetgeen aantoont, dat er een stroom ontstaat, maar tegengesteld in richting aan den vorigen.

Bij deze proef heet de stroom van de batterij de *induceerende stroom*, terwijl de stroom, die in den tweeden draad ontstaat, de *inductie-* of *geïnduceerde stroom* genoemd wordt. De werking van de induceerende stroomen kan men onder de volgende woorden brengen:

1°. Op het oogenblik, dat de induceerende stroom ontstaat, neemt men in den nabijgelegen draad een inductie-stroom waar, in richting tegengesteld aan den eersten.

2°. Zoo lang de induceerende stroom voortduurt, neemt men geen verschijnsel in den tweeden draad waar.

3°. Eindelijk ontstaat op het oogenblik, dat de induceerende stroom ophoudt, weder een stroom in den nabijgelegen draad, maar nu in dezelfde richting als de induceerende stroom.

456. **Eigenschappen van de inductie-stroomen, physiologische verschijnselen.** De inductie-stroomen vormen tegenwoordig eene belangrijke afdeeling van de natuurkunde, welke wij aan *Faraday*, beroemd engelsch natuurkundige, verschuldigd zijn.

De proef leert dat de inductie-stroomen al de eigenschappen

bezitten van de stroomen, die wij tot nog toe beschouwden. Zij geven vonken, doen hevige samentrekkingen der spieren ontstaan, ontleden water en zouten en werken op de magneetnaald.

Daar de werking der inductie-stroomen des te heviger is naarmate de draden langer naast elkander loopen, brengt men die inductie-toestellen gewoonlijk onder den vorm van een klos, zoo als fig. 372 voorstelt. Het is een cartonnen cilinder, waar omheen spiraalsgewijze een eenigszins dik koper-

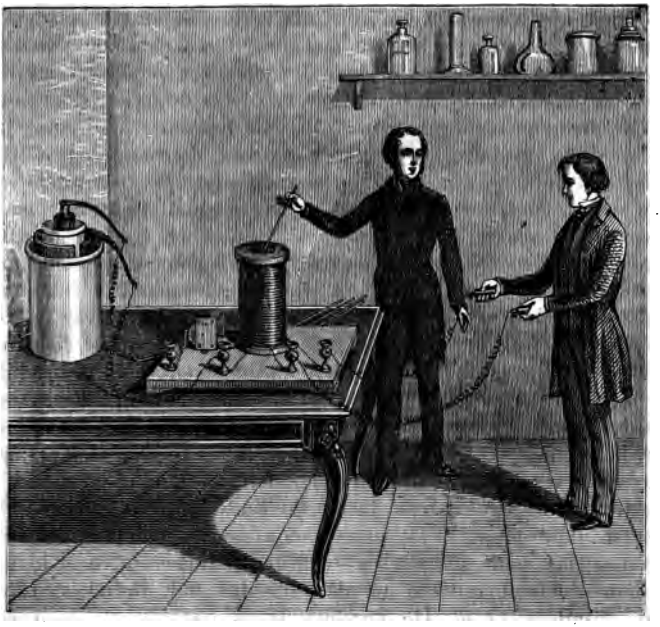


Fig. 372. Physiologische werking der inductie-stroomen.

draad ongeveer drie honderd malen is omgewonden. Hierom is een dunne draad in eenige duizende slagen heengerold. Deze draden zijn niet alleen met de grootste zorg met zijde omsponnen, maar daarenboven nog met een isoleerend vernis bestreken. Twee kleine koperen knoppen (links op de figuur) geplaatst op het plankje, waarop de klos staat, zijn in ver-

binding met de polen van eene batterij. Aan den uitersten knop links is een reep koper bevestigd, die op een klein getand rad, dat door een horlogewerk bewogen wordt, rust en verder in verbinding is met een van de einden van den dikken draad van den klos. Het andere einde van dienzelfden draad loopt over het plankje naar het tweede koperen knopje. Eindelijk vindt men rechts twee andere koperen knoppen, waarin de twee uiteinden van den dunnen draad, die om den anderen is heengewonden, uitloopen; verder gaan uit deze knoppen nog twee draden, die als verlengingen van den geïnduceerden draad zijn aan te merken. Om schokken voort te brengen bevestigt men aan deze draden nog twee koperen cilinders, welke men in de hand houdt, zooals de figuur doet zien.

De stroom komt dus niet in den dikken draad van den klos, dan na het horlogewerk te zijn doorgegaan: hieruit volgt dat telkens als de koperen reep, die op het getande rad rust, een van zijne tanden raakt, de stroom doorgaat; maar dat telkens als hij overspringt, van den eenen tand op den anderen, de stroom afgebroken wordt Hij gaat dus slechts met tusschenpoozen door den dikken draad, en het zijn deze tusschenpoozen, die inductie-stroomen doen ontstaan in den draad, dien men in de hand houdt, en wel telkens in tegengestelde richting.

De schokken, door dezen stroom gegeven, zijn niet gelijk; de inductie-stroom, die ontstaat op het oogenblik dat de induceerende stroom daar is, geeft nagenoeg geene schokken, terwijl deze zeer hevig zijn bij het afbreken van den induceerenden stroom. De werking van den inductieklos wordt zeer versterkt, wanneer men in den cilinder staafjes week ijzer plaatst. Die versterking moet men daaraan toeschrijven, dat die staafjes door de werking van den induceerenden of hoofdstroom electro-magneten worden en dus ook induceerend op den draad werken. De versterking is heviger als men een bundel ijzerdraad in den klos steekt, dan wanneer men daarin een ijzeren cilinder brengt. Magnus verklaart dit verschijnsel door aan te toonen, dat de hoofdstroom, wanneer hij afgebroken wordt, ook gelijk gerichte stroomen in het ijzer verwekt, en dat dus de magnetische toestand van het ijzer niet oogenblikkelijk ophoudt en dus zijn invloed op den inductie-stroom minder aanzienlijk is. In een bundel ijzerdraad ontstaan die stroomen niet zoo gemakkelijk als in eene enkele massa, de

schadelijke invloed doet zich dus in dit geval minder gevoelen.

457. **Toepassing van de electriciteit op de geneeskunde.** Dadelijk na de uitvinding van de electriseer-machine trachtte men de electriciteit aan te wenden tot het genezen van sommige ziekten. Men trok eerst vonken uit het ligchaam der zieken, door hen tot den geladen conductor van eene electriseer-machine te doen naderen; later isoleerde men de zieken op een bankje met glazen voeten; bracht hen in gemeenschap met den conductor en draaide de machine; daarna wreef men hen met borstels, die uit veel metaaldraden gevormd waren, om zoodoende het aantal vonken te vermeerderen. Op deze wijze gelukte het den toestand van sommige lijders somtijds te verbeteren, vooral in gevallen van verlamming. Evenwel men had de toepassing van de electriciteit op de geneeskunde bijna vaarwel gezegd, toen men op de gedachte kwam, haar in den vorm van galvanischen stroom aan te wenden en daarna in dien van inductiestroom; en op deze wijze geschiedt het voornamelijk tegenwoordig.

De eerste proeven aangaande de toepassing van den galvanischen stroom op de geneeskunde, hebben wij aan den zoo beroemden Alex. von Humboldt te danken. Van het einde der vorige eeuw af, nam hij hierover proeven èn op zich zelven èn op dieren. Onder andere proeven vermeldt hij de volgende: hij had een vogel, die op het punt was van te sterven en reeds zonder eenige beweging op den rug lag uitgestrekt en volstrekt ongevoelig was voor het prikken met eene naald. Hij bracht een staafje zink in den bek van den vogel en een zilverdraad in het *rectum*, en bracht daarna deze twee metalen in aanraking. „Hoe groot was mijne verwondering," schrijft hij, „toen op het oogenblik van de aanraking de vogel de „oogen opende, op de pooten ging staan en met de vleugels „begon te slaan! Hij haalde weder op nieuw adem gedurende „zes of acht minuten en stierf toen."

Deze proef en vele anderen bewijzen, hoe krachtig de elecriciteit op het dierlijk leven werkt. Weinig nog heeft men beproefd dit ergens onder den vorm van doorgaanden stroom aan te wenden, als in bovengemelde proef van von Humboldt; doorgaans doet men het onder den vorm van afgebroken stroom, welken men dan doorgaans door inductie-toestellen verkrijgt. Men kan deze inductie-toestellen in twee

soorten onderscheiden: bij de eene soort werken zij zonder batterij en de stroom wordt ontwikkeld door inductie door middel van een sterken magneet, die men doet rondwentelen voor twee klossen van koperdraad, dat met zijde omsponnen en omgerold is om een hoefmagneet van week ijzer, even als bij de electro-magneten. Het ijzer wordt magnetisch en verliest zijn magnetisme weer bij elke omwenteling van den magneet, werkt induceerend op den draad der klossen en ontwikkelt er een inductie-stroom, telkens in tegengestelde richting. Bij de andere soort is men den induceerenden stroom verschuldigd aan eene koolzink-batterij, op dezelfde wijze als bij den klos, dien wij bij fig. 371 reeds beschreven.

Wij stellen in fig. 373 een toestel van deze soort voor,

Fig. 373. Toepassing van de electriciteit op de geneeskunde.

uitgedacht door dr. Duchenne, van Boulogne, en in zijne praktijk gebruikt. Het bestaat uit eene kleine houten doos, *waarop* een koperen cilinder bevestigd is, die eenen inductie-*klos bevat.* In de doos is eene lade van zink, waarin men

eene kleine laag zout water vindt en in deze oplossing is een schijfje goed uitgebrande en met salpeterzuur doortrokken coke gedompeld: het geheel is eene gewijzigde batterij van Bunsen. Twee koperen plaatjes, het eene met het zink, het andere met de coke verbonden, geleiden den stroom naar den dikken draad van den klos, nadat hij eerst door een *stoom-afbreker* gegaan is, die hetzelfde gevolg heeft als het horlogewerk, dat bij fig. 372 beschreven is. Deze afbreker bestaat uit een plaatje week ijzer, dat door een electro-magneet, in het midden van den klos geplaatst, aangetrokken wordt. Dit plaatje wordt telkens aangetrokken als de stroom doorgaat, en breekt daardoor den stroom af. De beide uiteinden van den inductie-draad zijn voorzien van twee koperen kelkjes met glazen handvatsels, welke de proefnemer in de hand houdt. In de holte, die zich beneden in deze kelkjes bevindt, zijn sponsjes, die met zout- of gewoon water bevochtigd zijn, al naarmate men de geleidbaarheid van den stroom naar de deelen, die in aanraking met de sponsjes zijn, meer innig wil maken. In nevensgaande teekening ziet men op welke wijze men den stroom door een ziekelijk ligchaamsdeel doet gaan.

458. **Physische en mechanische werkingen der inductie-stroomen, klos van Ruhmkorff.** De inductie-stroomen veroorzaken door hunne groote spanning zeer sterke warmte- en licht-verschijnselen en zeer hevige mechanische werkingen. Men toont ze aan door een bij uitstek krachtigen rol of klos, uitgevonden door Ruhmkorff, een beroemd fabrikant van inductie-toestellen te Parijs.

De grootte van dezen klos is vrij willekeurig, de grootsten hebben eene lengte van 65 centimeters op een diameter van 24 centimeters. De klos bestaat, evenals de kleine, hierboven voorgesteld in fig. 371, uit twee koperdraden, een dikken en een dunnen, beide met zijde omsponnen en daarenboven met eene laag vernis bedekt voor de isolatie. De eerste koperdraad, van 2 millimeters diameter, is gerold om een centralen hollen cilinder van hout of van karton; hij is slechts eenige meters lang, en is omgeven door een koker van glas of van caoutchouc. Buiten om dezen koker heen is de dunne koperdraad gewonden, welks diameter slechts $^1/_5$ millimeter bedraagt, terwijl zijne lengte zelfs tot honderd duizend meters beloopen kan.

Door den dikken koperdraad, die de induceerende draad is, gaat de stroom eener batterij van drie of vier Bunsensche elementen. Deze stroom gaat in door den draad P (zie fig. 374) en bereikt den *commutator* C. Zoo noemt men een palmhouten cilinder, aan welks zijden twee koperen segmenten zijn aangebracht, waarvan het eene in verbinding staat met den knop *a*, het andere met den knop *c*. Zoo als de commutator in de figuur geteekend is, gaat de stroom, door den draad P aangebracht, naar een derden knop *b*, vanwaar hij zich naar den klos begeeft. Hij verlaat dezen aan het andere uiteinde, en begeeft zich vervolgens, door de koperen reep K, weder naar den commutator en naar den knop *c*. Van daar keert hij eindelijk naar de batterij terug door den draad N. Draait men nu den commutator 180 graden om, zoo wordt de uitwerking omgekeerd, dat wil zeggen: de stroom, ingaande in den klos bij het rechtsche einde, verlaat dezen bij den knop *b*. Vandaar de naam van commutator, dien men aan het kleine toestelletje C geeft; het dient tevens om den stroom te verbreken, hetgeen plaats heeft wanneer men het slechts 90 graden omdraait.

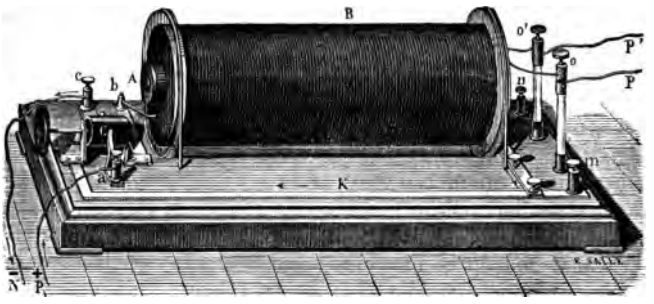


Fig. 374. Klos van Ruhmkorff.

Wat den dunnen draad betreft, zijne uiteinden zijn verbonden aan de twee geïsoleerde knoppen *o*, *ó*, waarin twee draden P en P′ worden vastgeschroefd, die den inductie-stroom kunnen geleiden waarheen men wil.

Is de toestel aldus ingericht, zoo ziet men dat, indien de *induceerende* stroom afgebroken door den dikken draad ging,

er in het geheel geen inductie-stroom in den dunnen draad zou ontstaan (zie 455); om dezen te doen ontstaan moet de induceerende stroom telkens afgebroken en weer hersteld worden. Deze afbrekingen worden verkregen door middel van een klein, op- en neergaand ijzeren *hamertje*, in de figuur niet zichtbaar, aan het rechtsche einde van den klos. De op- en neergaande bewegingen van het hamertje worden veroorzaakt door een bundel staafjes A van week ijzer, in de as van den klos geplaatst. Gaat de stroom door den dikken draad, dan wordt deze bundel staafjes magnetisch en trekt het hamertje aan. Nu is dit laatste zoodanig geplaatst, dat alsdan de stroom in den dikken draad wordt verbroken. Daardoor verliest de bundel A zijn magnetisme, en het hamertje valt weer neer; maar nu gaat ook de stroom op nieuw door, het hamertje wordt weer aangetrokken, en zoo vervolgens, met eene groote snelheid.

Bij iedere afbreking en bij iedere herstelling van den induceerenden stroom ontstaan er in den dunnen draad inductiestroomen in onderling tegengestelde richting. Deze tegengestelde stroomen zijn aan elkander gelijk wat de hoeveelheid electriciteit betreft, maar zij zijn niet gelijk in spanning; het is de directe of *openings*-stroom, die, bij korter duur, eene grootere spanning bezit.

Physiologische verschijnselen. De physiologische werkingen van den klos van Ruhmkorff zijn zoo hevig, dat men er zich niet te veel voor in acht kan nemen; door een grooten klos zou men als door den bliksem getroffen worden.

Warmte-verschijnselen. Men toont ze aan door de beide polen P, P′ van den inductie-stroom (fig. 374) door een zeer dunnen ijzerdraad te verbinden; deze wordt gloeijend, smelt en verbrandt met een levendigen glans.

Licht-verschijnselen. De licht-verschijnselen kunnen zeer verschillend zijn en zijn steeds hoogst merkwaardig. Noemen wij in de eerste plaats de boven reeds vermelde proef met het electrische ei, (zie 396). Wanneer men dit, na er damp van terpentijn-olie, van zwavel-koolstof, van alkohol of van iets anders ingebracht te hebben, tot op 1 of 2 millimeters kwikdrukking luchtledig maakt, en dan de beide metalen stangen in verbinding brengt met de polen P, P′ van den induktieklos, ziet men het geheele ei gevuld met een fraai

purperachtig licht, zich uitstrekkende van den eenen bol naar den anderen. Doch nu is dit licht niet onafgebroken, zoo als men het met de gewone electriseer-machine verkrijgt (fig. 316), maar het bestaat uit eene reeks van banden beurtelings licht en donker, welk verschijnsel men de *stratificatie* van het electrische licht noemt; het ontstaat door de telkens herhaalde afbrekingen van den stroom.

Verder is het vooral met de Geisslersche buizen, dat de inductieklos de schoonste lichtverschijnselen te weeg brengt. Zoo noemt men bijna luchtledige buizen, het eerst gemaakt door Geissler te Bonn, thans ook door verschillende glas-

Fig. 375. Geisslersche buis.

blazers. Fig. 375 stelt eene dezer buizen voor, uit verschillende bollen bestaande, door capillaire buizen aan elkander verbonden. Aan de beide uiteinden zijn twee dunne platinadraden in het glas ingesmolten, die aan de binnenzijde 1 of 2 millimeters uit het glas uitsteken. Deze buizen bevatten geen lucht, maar slechts een weinig uiterst verdunden damp of gas, bij eene drukking van omstreeks een halven millimeter kwik. Wanneer men de beide platina-draden met de polen van den klos van Ruhmkorff verbindt, ziet men van het eene einde der buis tot aan het andere prachtige lichte strepen en banden, door donkere strepen gescheiden. In de teekening hierboven (fig. 375) is de buis met waterstof gevuld; het licht in de bollen is dan wit, dat in de capillaire buizen rood. Door den vorm der buizen, het gas of den damp, dien zij bevatten, of de soort van het glas af te wisselen, verkrijgt men strepen met eene andere kleur en een ander voorkomen, maar altijd zijn deze verschijnselen zeer merkwaardig, vooral in buizen waarvan het glas uranium bevat.

Mechanische verschijnselen. Het is gemakkelijk in te zien, dat

door de groote spanning van den inductie-stroom, dien de klos van Ruhmkorff oplevert, de mechanische werkingen van dezen buitengewoon hevig moeten zijn. Inderdaad kan men met een grooten inductie-klos eene glasplaat doorboren, waarvan de dikte zelfs 5 centimeters kan bedragen. Men doet deze proef met behulp van het reeds boven beschreven toestel (fig. 333), maar zoodanig gewijzigd, dat de vonk niet

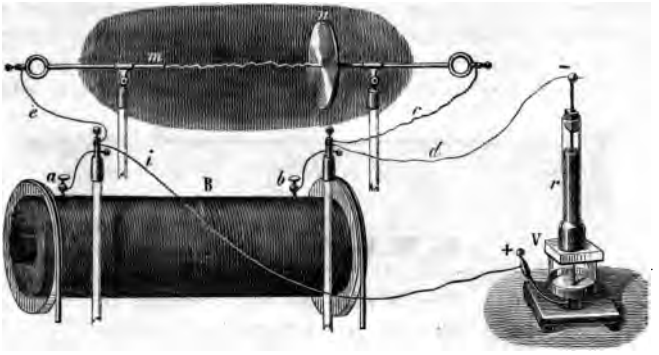


Fig. 376. Het doorslaan eener glasruit.

kan overspringen buiten de plaat om, die men wil doorboren. Daartoe plaatst men de glasruit V (fig. 375) tusschen twee koperen stangen, die met de beide polen van den inductie-klos verbonden zijn, maar de bovenste stang is volkomen geïsoleerd in eene wijde glazen buis *r*, welke men vol gegoten heeft met gesmolten lak. De vonk, die nu niet zijdelings kan overspringen, is gedwongen door de glasruit heen te gaan. Wanneer deze evenwel een te grooten weerstand aanbiedt, springt de vonk niet over; zij kan dan overspringen in den klos zelven, en zou dezen daardoor geheel onbruikbaar maken.

Om dit onheil te voorkomen zijn de polen van den inductieklos, behalve door de draden *i* en *d* met het toestel, rechts in de figuur, daarenboven, door de draden *c* en *e*, met twee horizontale koperen stangen verbonden, waarvan de eene eindigt in eene koperen schijf *n*. Zijn deze schijf en de stang *m* meer of minder ver van elkander verwijderd, volgens de kracht

van den klos, zoo zal de vonk, wanneer zij niet in staat mocht zijn het glas te doorboren, met een levendigen glans en een knetterend geluid tusschen *m* en *n* overspringen. Deze vonken volgen elkander snel op, en kunnen zelfs eene lengte van 45 centimeters bereiken; zij gelijken in alle opzichten op kleine bliksemslagen.

EINDE.

ERRATA.

Pag.	14,	r.	15	v. b.	*staat:*	(zie 10),	*lees:*	(zie 11).
"	59,	"	20	v. o.	"	r, r′, r″, r‴,	"	r, r′, r, r′.
"	59,	"	14	v. o.	"	K, K,	"	K, K′.
"	81,	"	8	v. b.	"	(zie 10),	"	(zie 11).
"	86,	"	18	v. o.	"	(zie 72),	"	(zie 77).
"	88,	"	16	v. b.	"	(zie 80),	"	(zie 76).
"	91,	"	41	v. b.	"	(zie 42),	"	(zie 46).
"	92,	"	17	v. b.	"	(zie 59),	"	(zie 65).
"	95,	"	5	v. b.	"	(zie 75),	"	(zie 80).
"	98,	"	2	v. b	"	(zie 81),	"	(zie 86).
"	158,	"	2	v. o.	"	(zie 114),	"	(zie 116).
"	208,	"	8	v. o.	"	158	"	165.
"	375,	"	18	v. o.	"	vertueel,	"	virtueel.

c. c. l. b.

BDU